



Propuesta de guía de diseño geométrico para patios talleres de un sistema de buses rápidos (BRT)

José Daniel Morales Manrique

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola
Bogotá, Colombia
2020

Propuesta de guía de diseño geométrico para patios talleres de un sistema de buses rápidos (BRT)

José Daniel Morales Manrique

Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería - Transporte

Director:

MSc. Wilson Ernesto Vargas Vargas

Línea de Investigación:

Diseño y gestión vial

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

Bogotá, Colombia

2020

Mientras que haya un por qué, vale la pena seguir intentando.

La familia siempre será lo más importante y la mía me ha enseñado que no importa de dónde vienes, sino lo que haces diariamente lo que define tu destino, gracias por el trabajo de todos los días y a las personas que han hecho parte de este nuevo logro de mi vida.

Disvial, Jose, Wilson, gracias por apoyarme y estar en mi camino, por las tardes de trabajo y palabras de afecto.

Este es sólo el comienzo.

A

Agradecimientos

Para lograr el desarrollo de la presente propuesta de guía de diseño geométrico para patios de mantenimiento de sistemas BRT, se necesitó la colaboración de profesionales con una vasta experiencia en el desarrollo de proyectos de estas características, ellos fueron José Félix Gómez Pantoja, en su rol como estructurador de proyectos de la Financiera de Desarrollo Nacional; Crisanto Sáenz Saavedra, ingeniero especialista en diseño geométrico; José Fernando Sánchez Chaves, especialista en tránsito, diseño y seguridad vial; Felipe Ramírez Buitrago, subgerente técnico y de servicios de Transmilenio y Luis Fernando Ramírez, arquitecto especialista en urbanismo y paisajismo de la empresa Integral; donde la experiencia de estos profesionales permitió el desarrollo de la presente guía.

Asimismo, a Disvial Ingeniería de proyectos, y José Fernando Sánchez como representante legal, la empresa en la que ejerzo mi profesión y de la cuál he podido tener la información base para algunos de los planteamientos acá mostrados.

Resumen

El principal objetivo de presentar esta propuesta de guía de diseño geométrico es la recopilación de la experiencia de profesionales encargados de los planteamientos decisivos de los patios de mantenimiento de sistemas de buses rápidos (BRT). Está enfocado en el caso de Bogotá por ser el referente de este sistema de transporte en el país y América latina, el resultado son unas recomendaciones con ejemplos de los diferentes aspectos de diseño (planimétrico y altimétrico) que se deben alimentar a medida que se cuente con un mayor aprendizaje y experiencia.

Palabras clave: Diseño geométrico, Patios de Mantenimiento, Sistemas de buses rápidos (SBR), Transmilenio

Abstract

The main objective of presenting this proposal for a geometric design guide is the compilation of the experience of professionals in charge of the decisive approaches of maintenance patios for Bus Rapid Transit systems (BRT). It is focused on the case of Bogotá for being the benchmark of this transport system in the country and Latin America, the result is some recommendations with examples of the different design aspects (planimetric and altimetric) that must be fed as it is counted with more learning and experience.

Keywords: Geometrical design, Maintenance, Bus Rapid Transit (BRT), Transmilenio

Contenido

	Pág.
Contenido	
1. Definiciones.....	3
2. Generalidades	5
2.1 Aspectos previos e insumos.....	6
2.1.1 Predios	6
2.1.2 Vehículos de diseño	8
2.1.3 Servicios públicos y redes necesarias	15
2.1.4 Ciclo productivo	17
2.1.5 Operación.....	29
2.1.6 Servicios adicionales	31
3. Características de diseño	35
3.1 Datos de diseño	38
3.2 Diseño planimétrico.....	39
3.2.1 Pre - Dimensionamiento:	39
3.2.2 Ejemplo de diseño planimétrico	55
3.3 Indicador de eficiencia de ocupación.....	67
3.4 Diseño altimétrico.....	68
4. Recomendaciones operacionales.....	75
5. Entregables.....	77
6. Conclusiones y recomendaciones.....	79
6.1 Conclusiones.....	79
6.2 Recomendaciones.....	80

Lista de ilustraciones

Pág.

Ilustración 1. Ubicación Patio Portal Américas.	7
Ilustración 2. Ubicación Patio y Portal de la Calle 80.....	7
Ilustración 3. Ubicación Patio y Portal de la Calle 80.....	8
Ilustración 4 Dimensiones bus biarticulado.	10
Ilustración 5. Demarcación parqueo a 90 grados.	10
Ilustración 6. Distancia de calibración para la localización de vehículos laterales.	12
Ilustración 7. Localización de vehículos laterales.	12
Ilustración 8. Demarcación parqueo a 90 grados.	13
Ilustración 9. Demarcación parqueo a 45 grados.	13
Ilustración 10. Efecto del vagón trasero. Ingreso a 90 grados.	14
Ilustración 11. Dimensiones definidas para parqueos a 45 grados de biarticulados.	15
Ilustración 12. Áreas y Servicios Necesarios para la operación.	17
Ilustración 13. Ciclo de Producción de un patio de mantenimiento.	18
Ilustración 14: Entrada Patio de Mantenimiento Norte de Transmilenio.	19
Ilustración 15: Zona de abastecimiento típica (Diesel)	22
Ilustración 16. Lavado interno.	23
Ilustración 17: Cárcamo para lavado de Chasis.	24
Ilustración 18: Áreas de servicios adicionales.	31
Ilustración 19. Zonas destinadas para los trabajadores.....	33
Ilustración 20. Diagrama de flujo del proceso de diseño geométrico de un patio.....	37
Ilustración 21. Datos del diseño geométrico.	38
Ilustración 22. Acceso del patio directamente.	40
Ilustración 23. Ejemplo de acceso a un patio modificando el entorno.....	41
Ilustración 24. Características bus biarticulado de la ciudad de Bogotá	42
Ilustración 25. Dimensiones de las baterías de parqueo para buses biarticulados y articulados.	43
Ilustración 26. Ejemplo baterías de parqueo.	44
Ilustración 27. Simulación de trayectorias virtuales.	45
Ilustración 28. Bloque de lavado externo.....	46
Ilustración 29. Bloque de mantenimiento correctivo.	47
Ilustración 30. Bloque de mantenimiento preventivo.	48
Ilustración 31. Bloque de latonería y pintura.	48

Ilustración 32. Bloque de abastecimiento típico.....	50
Ilustración 33. Instalación complementaria del abastecimiento de Gas Natural.....	50
Ilustración 34. Ancho típico de carril de circulación.....	51
Ilustración 35. Dimensiones mínimas para maniobrabilidad de un bus articulado.....	52
Ilustración 36. Trayectoria vehicular de referencia.....	53
Ilustración 37. Alineamiento de un giro a 180 grados.....	54
Ilustración 38. Ejemplo de alineamiento tipo Gota.....	54
Ilustración 39. Identificación restricciones de diseño.....	56
Ilustración 40. Ejemplo de acceso con cuña de acumulación.....	57
Ilustración 41. Ingreso y salida del patio a un portal contiguo.....	57
Ilustración 42. Módulo de parqueo de 30 biarticulados a 90 grados.....	59
Ilustración 43. Módulo de parqueo de 30 biarticulados a 45 grados.....	59
Ilustración 44. Propuesta de diseño con las recomendaciones mostradas.....	60
Ilustración 45. Pasillos requeridos para baterías de parqueo inclinadas.....	61
Ilustración 46. Carriles requeridos para el diseño a 90 grados.....	62
Ilustración 47. Propuesta de diseño para un predio alargado.....	63
Ilustración 48. Edificio administrativo Patio Norte de Transmilenio.....	64
Ilustración 49. Propuesta de diseño.....	65
Ilustración 50. Alternativa 2 de diseño.....	66
Ilustración 51. Ejemplo de diseño altimétrico, lote disponible.....	69
Ilustración 52. Ejemplo de diseño altimétrico, perfiles longitudinales.....	70
Ilustración 53. Ejemplo de diseño altimétrico, perfil A.....	71
Ilustración 54. Ejemplo de diseño altimétrico, perfil B.....	71
Ilustración 55. Ejemplo de diseño altimétrico, perfil 1.....	71
Ilustración 56. Ejemplo de diseño altimétrico, perfil 2.....	71
Ilustración 57. Ejemplo de diseño altimétrico, perfil 3.....	71
Ilustración 58. Ejemplo de diseño altimétrico, diseño planimétrico consolidado.....	72
Ilustración 59. Ejemplo de diseño altimétrico, propuesta de drenaje transversal.....	73
Ilustración 60. Ejemplo de diseño altimétrico, propuesta de drenaje longitudinal.....	74
Ilustración 61. Ejemplo de intercambio operacional.....	76

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Distancias de entrada y salida parqueo a 45 y 90 grados.....	12
Tabla 2. Ciclo de producción. Fuente: Transmilenio SA.	30
Tabla 3. Medidas cajones de parqueo	43
Tabla 4. Dimensiones vehículos de diseño.	43
Tabla 5. Parámetros guía como resultado de las pruebas de campo.	44
Tabla 6. Parámetros guía como resultado de la modelación con software.	45
Tabla 7. Cantidad de puestos de mantenimiento de acuerdo con el tamaño de la flota del patio.....	49
Tabla 8. Factor de equivalencia	67
Tabla 9. Valores de referencia para el factor de eficiencia de ocupación.	68

Introducción

En la ingeniería existen normas, parámetros y criterios, que pueden ayudar y guiar al ingeniero en su práctica profesional y el diseño geométrico no es la excepción, sin embargo, la experiencia y criterios de los expertos suelen dejarse de lado. Se pretende recoger y documentar esa experiencia de especialistas del área de tránsito, transporte y otras que se requieren para el desarrollo de un proyecto como lo son los Patios de Mantenimiento de un sistema BRT y así brindar una guía práctica a los profesionales del diseño geométrico.

A partir de consultar profesionales expertos de diferentes áreas, etapas y entidades se organizaron reuniones en las que se recolectó la experiencia, lecciones aprendidas y consejos de cada uno para lograr recopilarlas en esta propuesta de guía de diseño geométrico. Con puntos de vista diferentes se han podido identificar otros requerimientos en el diseño de un Patio de Mantenimiento de un sistema BRT:

- Establecer los requerimientos del Patio.
 - Tecnologías disponibles.
 - Operación del Patio.
- Consecución del predio.
- Aprobaciones requeridas de las diferentes instituciones que intervienen.

Una vez recopilada la información de la primera fase con los profesionales consultados, se realizó una primera versión de la guía de diseño geométrico, esta fue presentada a los especialistas, recibiendo diversos comentarios, observaciones y aclaraciones, de este modo se consolida el documento acá entregado.

A pesar de que la presente guía se enfoca en su totalidad en el desarrollo de unos lineamientos para el diseño geométrico, se explicará cómo las demás especialidades influyen y terminan condicionando el desarrollo, de esta manera sentar un precedente y

posteriormente haya una actualización que permita la incorporación de nuevos conceptos que se adquieran con el paso del tiempo, además, de documentar el conocimiento, experticia y bondades de las diversas obras que se han construido hasta ahora en el país. Se deja a criterio del diseñador el uso o no de la presente guía, proponiendo una retroalimentación de elementos omitidos en el presente análisis.

La guía presenta una organización secuencial, que busca brindar al diseñador herramientas generales y específicas para el diseño geométrico de un patio de mantenimiento de un sistema BRT.

1. Definiciones

Altura al paso de acceso	Distancia vertical medida desde la superficie de la vía hasta la parte superior del primer peldaño del paso de acceso. (ICONTEC, 2009)
BRT o SBR	Sistema de transporte masivo basado en buses con carriles de circulación exclusiva, Sistemas de Buses Rápidos o en inglés Bus Rapid Transit.
Bus articulado	Vehículo para uso en vía troncal que cuentan con dos vagones y una articulación, con 18 metros de largo y capacidad de 160 pasajeros.
Bus biarticulado	Vehículos de tres vagones y dos articulaciones. Mide 27.2 metros de largo, cuenta con una capacidad para 250 pasajeros, los cuales operan en los corredores del sistema BRT.
Cajones de parqueo	Espacio utilizado por un único vehículo de la flota.
Carriles de tráfico mixto	Carriles en los que circula el tráfico mixto: como automóviles, buses, camiones y motocicletas.
Corredores exclusivos	Carriles exclusivos para el servicio BRT.
Estación	Infraestructura exclusiva del sistema troncal, la cual cuenta con sistema de torniquetes para el ingreso y salida del sistema, adicionalmente permite el ascenso y descenso de pasajeros
Flota	Es el conjunto de buses disponibles para la operación, que cumplen con las características y especificaciones señaladas en el Manual de Operaciones. Este número de buses no incluye la Flota de Reserva.
Flota de reserva	Es el conjunto de buses, disponibles para la operación que cumplan con las características y especificaciones señaladas en el manual de operaciones. Este número de buses no incluye la Flota de Reserva
Operador	Persona jurídica, establecida como empresa de transporte, contratada por la empresa encargada (en el caso de Bogotá Transmilenio) en la modalidad de concesión, y cuya principal función es prestar el servicio de transporte, a través de la operación y mantenimiento de buses y patio- talleres a su cargo.
Patio de Mantenimiento	Infraestructura del sistema de buses BRT, destinado para las labores de mantenimiento preventivo, correctivo, abastecimiento, lavado y parqueo de buses, desde allí inicia y termina la operación del sistema.

2.Generalidades

Bogotá, desde el año 2000, cuenta con un Sistema de Buses Rápidos -BRT Bus Rapid Transit-, llamado Transmilenio; actualmente, este sistema cuenta con unas troncales construidas y otras planeadas que buscan articular y garantizar el acceso de los usuarios, proyectándose como el principal medio de transporte masivo de la capital del país. Se ha construido en tres fases, en las cuales el diseño geométrico se constituye como parte fundamental de la gestación del sistema; el cuál ayudó a establecer parámetros típicos de diseño para las estaciones, paraderos o terminales, secciones transversales (requeridas para garantizar la continuidad y conectividad), los vehículos de diseño, velocidad y demás características del entorno que pueden condicionar un diseño.

Por otro lado, parámetros como la velocidad de operación, el ancho de calzada y vehículo de diseño son, en términos generales, transversales a cualquier diseño geométrico, pero para los patios de mantenimiento no se han establecido algunos criterios específicos, lo cual ha generado una mezcla de ideas y conceptos, que se ajustan de acuerdo a la experiencia de los profesionales encargados, pero dificulta el proceso de planeación y consenso en el momento de la revisión, evaluación y ajustes de dichos estudios y/o diseños.

El más reciente ejemplo para revisar la importancia del diseño geométrico de patios-talleres del sistema BRT de la ciudad de Bogotá, es la incorporación de nuevos buses a partir del proceso de contratación que se llevó a cabo en el año 2018, donde se renovó el 64% del total de la flota (Vega B., 2018), con el objetivo de mejorar la calidad del servicio, aumentando la oferta del sistema. Lo anterior demanda la necesidad de unos nuevos patios de mantenimiento en donde se guardarán algunos de los automotores y hacer la transición entre los buses usados y los nuevos.

2.1 Aspectos previos e insumos

A continuación, se realizará una definición de los diferentes aspectos que influyen en la operación de cada patio de mantenimiento, -las actividades que se llevan a cabo, espacios requeridos, servicios, etc.-, además de las implicaciones e importancia que tiene el diseño geométrico.

2.1.1 Predios

El primer requisito que condiciona el diseño geométrico es el predio en el que se ubicará el patio de mantenimiento. Los casos que se van a mencionar y a ilustrar están enmarcados en la ciudad de Bogotá con el sistema Transmilenio como principal referente del sistema BRT en el país.

La ubicación del patio de mantenimiento puede estar en el mismo lote que el portal (Ver la Ilustración 1. Ubicación Patio Portal Américas.), a una distancia relativamente corta (Ver la Ilustración 2. Ubicación Patio y Portal de la Calle 80.) o incluso a una distancia mayor (como es el caso del Patio Norte **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**); esto se busca con la finalidad de optimizar los recorridos que tiene la flota, sin embargo, no es tan fácil de lograr en ciudades consolidadas y desarrolladas como en la ciudad de Bogotá.

Los lotes en general son zonas extensas sin desarrollar, el tamaño depende de la cantidad de buses que se quieren manejar en el patio, en función de ello se puede definir un área aproximada mínima del lote, multiplicando el tamaño de la flota por 300 metros cuadrados.

Ejemplo:

Para una flota de 100 buses biarticulados, se necesitará un predio de aproximadamente:

$$\text{Área aproximada necesaria: } 100 \text{ buses} \times 300 \frac{m^2}{\text{bus}} = 30.000 m^2$$

Lo que define la morfología y el tamaño del patio como las principales características con las que se lidia en el diseño geométrico. Pudiendo clasificarla en tres tipos:

- Alargado: Teniendo que la relación de $\frac{Largo}{Ancho} > 2$. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**
- Cuadrado o rectangular: Teniendo que la relación de $\frac{Largo}{Ancho} \leq 2$. Ver Ilustración 1.
- Irregular: La forma no corresponde a un lote regular similar a la forma de un rectángulo. Ilustración 2.

Ilustración 1. Ubicación Patio Portal Américas.



Fuente: Elaboración propia con Google Earth.

Ilustración 2. Ubicación Patio y Portal de la Calle 80.



Fuente: Elaboración propia con Google Earth.

¿Pero esto cómo puede afectar el tipo de diseño geométrico que se tiene de un patio del sistema? Dependiendo de esta morfología es que se pueden tomar decisiones como la inclinación de las baterías de parqueo, la localización de la entrada o salida, las zonas de mantenimiento, etc.

Ilustración 3. Ubicación Patio y Portal de la Calle 80.



Fuente: Elaboración propia con Google Earth.

2.1.2 Vehículos de diseño

El sistema de transporte masivo de Bogotá, más conocido como Transmilenio, ha tenido una evolución constante a lo largo de su historia, desde el año 2000 en el que se implementó y la principal característica ha sido su articulación de dos vagones que lo hacen especial respecto a los buses comunes o demás vehículos de diseño.

Para cualquier diseño geométrico se necesitan parámetros y criterios como insumo para el diseño geométrico, uno de ellos es el vehículo de diseño, con esa información se determinan varios de los requerimientos de los patios talleres, como la tecnología y modo de realizar el abastecimiento, las dimensiones de los espacios de mantenimiento, las maniobras mínimas para la circulación o parqueo.

Inicialmente -cuando comenzó el sistema Transmilenio en la década del 2000-, se contaba con buses articulados, estos tenían una longitud aproximada de 19 metros y propulsados por combustible Diesel; los avances tecnológicos han permitido construir buses más largos, con más de una articulación e incluso con otros sistemas de combustibles, logrando ahora tener buses articulados, biarticulados, propulsados por gas natural, Diesel y con una longitud máxima de hasta 27.3 metros.

Esta evolución ha modificado los parámetros de diseño constantemente, por ejemplo, con la adquisición de los buses biarticulados, se cambió el vehículo de diseño de un bus articulado de 19 metros de largo y 2.5 metros de ancho, a un bus biarticulado de 27.3 metros de largo por 2.7 metros de ancho¹; con una infraestructura consolidada como lo es la de Transmilenio en la ciudad de Bogotá, ¿qué consecuencias trae cambiar el vehículo de diseño para la operación sobre los corredores, patios y estaciones ya existentes?, además, ¿se deberían mantener los parámetros de diseño con los que se ha construido la infraestructura del sistema hasta ahora?

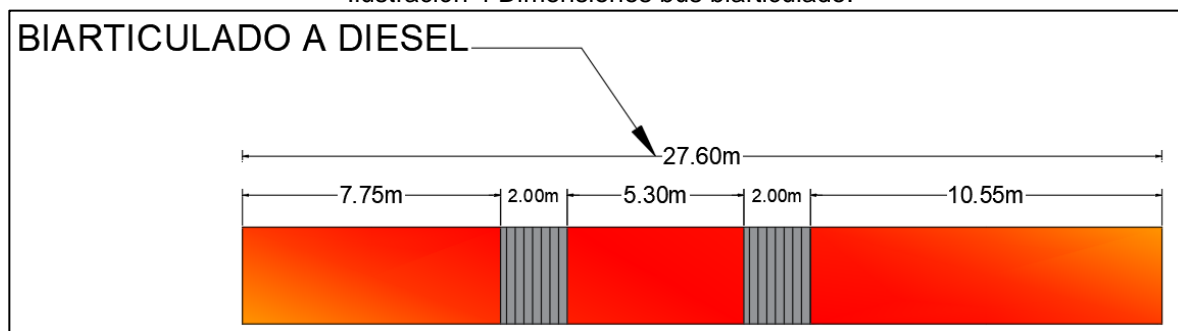
Para dar una primera aproximación a lo que sería la respuesta a las dos preguntas hechas anteriormente, cabe destacar la importancia de la realización de pruebas y visitas de campo, en las que se identifiquen aspectos importantes como:

- Dimensiones de las estructuras requeridas para la operación.
- Trayectorias y maniobras que se requieren para el acceso y salida de los diferentes servicios.
- Operación y actividades requeridas.

Con el fin de garantizar una evaluación completa de los parámetros que influyen en la trayectoria de los buses durante su ingreso o salida de las baterías de parqueo, se definen en la Ilustración 4 las dimensiones máximas vistas desde planta, que pueden presentar los vehículos de mayor tamaño.

¹ Según la documentación técnica de Transmilenio S.A. del proceso licitatorio TMSA-LP-02-2018

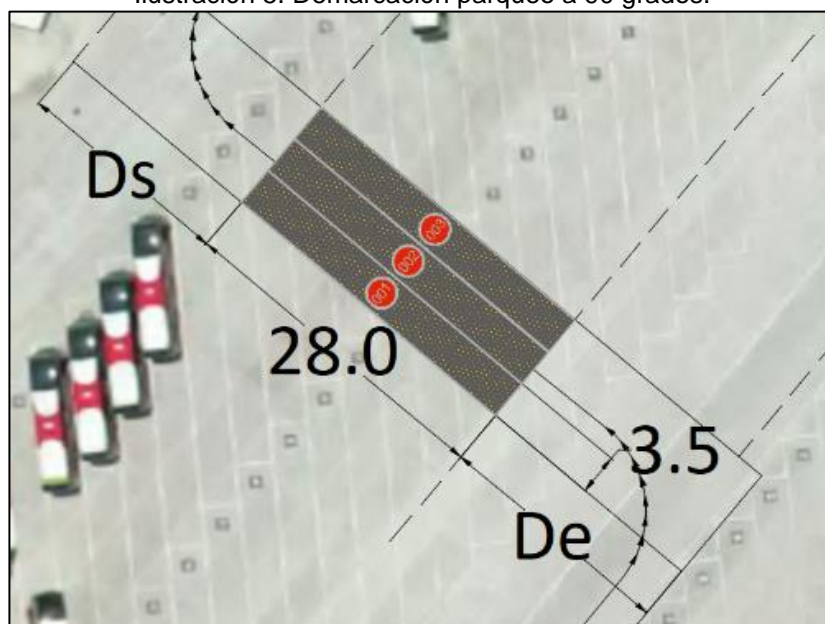
Ilustración 4 Dimensiones bus biarticulado.



Fuente: (Transmilenio SA, 2018c)

Para validar y optimizar los diseños geométricos que se realizaron unas pruebas para los patios existentes y temporales de los lotes 80, Norte y Tunal. Se dispuso de señalización provisional para demarcar las zonas de parqueo las cuales se describen en la donde además se identifican unos valores de referencia para empezar con el desarrollo de las pruebas, dejando además para la prueba, distancias de entrada “De” y distancias de salida “Ds” variables para efectos de identificar la mínima permitida en garantías de seguridad de operación.

Ilustración 5. Demarcación parqueo a 90 grados.



Fuente: Elaboración propia.

Para el ingreso y la salida variables, se demarcó con señalización horizontal, cinta reflectiva y conos alineados a la entrada y a la salida, con el fin de aumentar o reducir la distancia disponible para identificar las trayectorias y la alineación de parqueo al final de cada maniobra.

La prueba fue realizada día 30 de noviembre de 2018, en horas de la mañana con buses biarticulados en el Patio de Occidente del sistema Transmilenio (Patio del Portal El Dorado) las cuales consistieron en realizar maniobras de parqueo y salida simulando condiciones típicas. Tales como ancho y largo de la batería de parqueo, que son frecuentes en los diseños de los patios temporales de los lotes 80, Norte y Tunal.

Se verificó la maniobra de parqueo crítica la cual consiste en parquear un biarticulado entre dos biarticulados a lado y lado. Estas maniobras se realizaron en las siguientes condiciones:

- Cajones de parqueo dispuestos a 90°. Por medio de demarcación horizontal definida para esta prueba.
- Cajones de parqueo dispuestos a 45° utilizando los cajones propios del patio.

Localización y demarcación de baterías de parqueo - escenarios de prueba

Inicialmente para los cajones dispuestos a 90° se realizó el replanteo teniendo como base la longitud máxima del bus más grande (Biarticulado) y sumando factores de seguridad por el tamaño de los espejos, su interacción con las baterías de parqueo y buses que se encuentran a los lados en condiciones operacionales normales, teniendo en cuenta la incidencia de las maniobras con vehículos articulados y biarticulados, y el impacto de dichas articulaciones dentro de las trayectorias de entrada y salida.

En la Ilustración 5. Demarcación parqueo a 90 grados. se puede identificar la localización general del lugar donde fue realizada la prueba, así como información importante del replanteo realizado para la prueba a 90 grados, teniendo en cuenta las dimensiones de las baterías de parqueo, las cuales tienen un ancho de 3.5 metros y un largo de 28 metros para el parqueo de biarticulados.

Por otro lado, es importante resaltar que las distancias de entrada “De” y de salida “Ds” se han establecido buscando analizar la condición más crítica a la cual los buses pueden entrar y parquear sin problemas y posteriormente salir. En la Tabla 1 Distancias de entrada y salida

parqueo a 45 y 90 grados. se presentan las dimensiones definidas para la prueba de entrada y salida para la configuración a 90 grados.

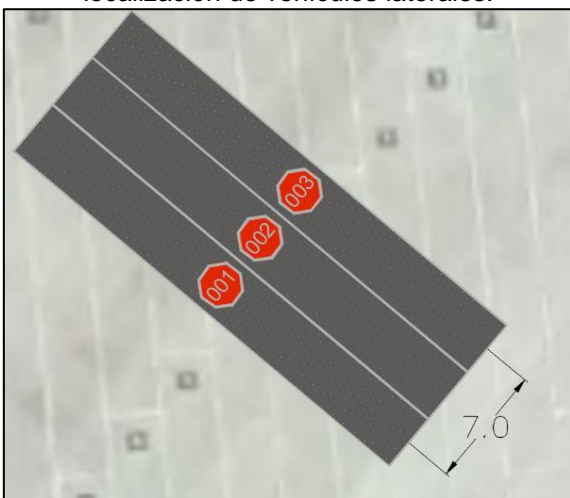
Tabla 1 Distancias de entrada y salida parqueo a 45 y 90 grados.

Parqueo	a 90 grados	A 45 grados
Distancia de entrada "De"	18m	11
	19m	12
	20m	13
Distancia de salida "Ds"	18m	11
	19m	12
	20m	13

Fuente: Elaboración propia.

Es importante denotar la calibración realizada durante la etapa de ubicación de los vehículos en las baterías laterales, la cual, para efectos de recrear la situación más desfavorable, de modo que los resultados fueran representativos y garantizaran un resultado coherente y válido para la operación de cualquier bus en cualquier patio o instalación del patio taller.

Ilustración 6. Distancia de calibración para la localización de vehículos laterales.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 7. Localización de vehículos laterales.



Fuente: Fotografía tomada en el patio El Dorado de Transmilenio SA.

Los buses ubicados a lado y lado, como obstáculos de la maniobra a revisar, se ubicaron a una distancia de 7 metros, permitiendo una desviación máxima de más o menos 10 cm, como se muestra en la Ilustración 6. Distancia de calibración para la localización de vehículos laterales..

Para efectos prácticos se ha utilizado la señalización existente, la cual corresponde también a parqueos de 45 grados para realizar la inspección de las distancias óptimas de maniobra.

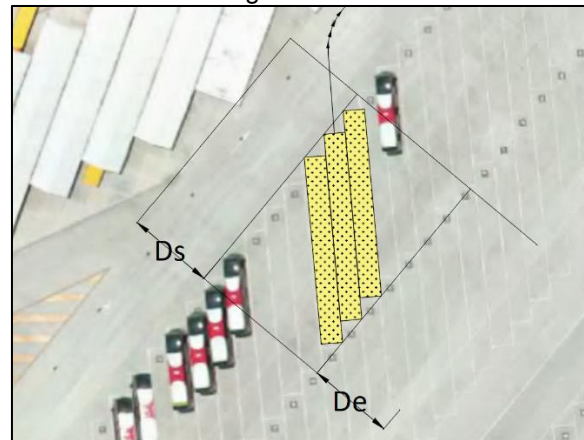
Con el fin de poder delimitar las distancias de entrada y de salida asignadas para la prueba, se ha utilizado cinta delimitadora de fácil detección con el objetivo de brindar claridad a los conductores por donde realizar la trayectoria correspondiente en cada intento de la prueba de ingreso y también de salida para la configuración a 90 y 45 grados. La muestra el ingreso para la prueba de 90 grados, con ingresos que van desde los 18 hasta los 20 metros. De forma adicional se anexan los videos del desarrollo de las pruebas con el objetivo de poder visualizar la trayectoria de cada prueba en los diferentes escenarios para ingreso y salida de los biarticulados con configuraciones de parqueo a 90 y 45 grados.

Ilustración 8. Demarcación parqueo a 90 grados.



Fuente: Fotografía tomada en el patio El Dorado de Transmilenio SA.

Ilustración 9. Demarcación parqueo a 45 grados.



Fuente: Fotografía tomada en el patio El Dorado de Transmilenio SA.

EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES OPERACIONALES

Baterías de parqueo dispuestas a 90°

Para la prueba de biarticulados con baterías de parqueo configuradas a 90 grados, se tuvo en cuenta:

- El tamaño de los nuevos vehículos biarticulados que serán puestos en circulación, que tienen una longitud de bus (27,1 metros), se plantean baterías de 28 metros de largo teniendo en cuenta una distancia de seguridad en la parte delantera y trasera del vehículo parqueado, de 45cm cada una, lo cual a su vez va a beneficiar la distancia de ingreso y salida aportando a la distancia total de cada una de estas.
- Se realizaron las pruebas con distancia de ingreso de 18m, 19m y 20m y se observó que, para los dos primeros intentos, que la última articulación del bus no quedaba alineada, con efectos importantes también por el efecto de “coletazo” que presenta el último vagón, el cual invade el espacio delimitado para las pruebas de 18m y 19m, como se identifica en la Ilustración 10. Efecto del vagón trasero. Ingreso a 90 grados. donde se identifica como el tren posterior del bus, derriba el cono que delimitaba la trayectoria que debía seguir el bus.

Ilustración 10. Efecto del vagón trasero. Ingreso a 90 grados.



Fuente: Fotografía tomada en el Patio el Dorado de Transmilenio SA.

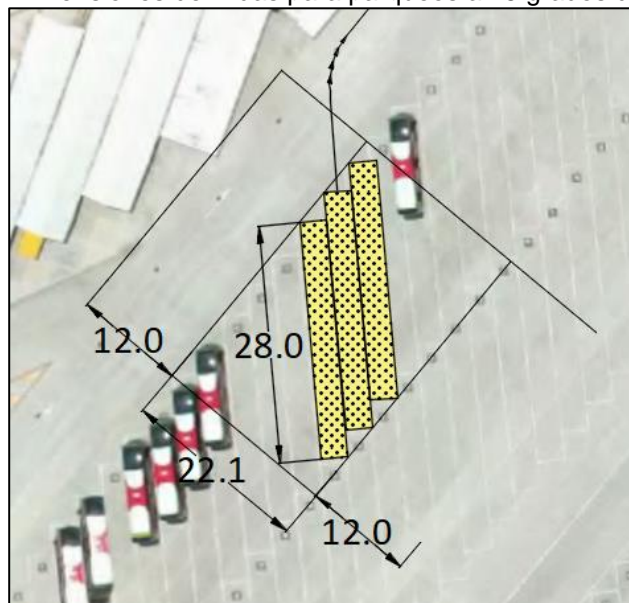
Por lo que se recomienda utilizar los 20 m indicados. En la Ilustración 10. Efecto del vagón trasero. Ingreso a 90 grados. se muestra el movimiento de la última articulación para la prueba de ingreso a 19 metros.

Baterías de parqueo dispuestas a 45°

Para la prueba de biarticulados y articulados con baterías de parqueo configuradas a 45 grados, se tuvo en cuenta:

- Los vehículos biarticulados con baterías de parqueo configuradas a un ángulo de 45 grados, requieren un ancho total de circulación de 12 m en ambos costados (ingreso y salida), para garantizar una maniobra de entrada y de salida segura.

Ilustración 11. Dimensiones definidas para parqueos a 45 grados de biarticulados.



Fuente: Elaboración propia.

- Para el ancho de cada corredor de entrada, batería de parqueo y salida de los vehículos biarticulados, se recomienda un ancho de 46.5 metros, teniendo en cuenta los 12 metros de cada pasillo y los 22,1 metros de la distancia proyectada para las baterías de parqueo, como se identifica en la Ilustración 11. Dimensiones definidas para parqueos a 45 grados de biarticulados.

2.1.3 Servicios públicos y redes necesarias

Como parte importante del desarrollo de infraestructura es la vinculación de los servicios públicos para el correcto funcionamiento de esta, y es desde el diseño geométrico que se debe garantizar la conexión del patio de mantenimiento a la electricidad, gas, agua, alcantarillado, voz y datos. Inicialmente estas serían las redes que se deben tener en cuenta, sin embargo, pueden cambiar con el pasar del tiempo, si el avance de la tecnología así lo determina.

Abastecimiento (gas, gasolina electricidad)

De acuerdo con las tecnologías para el aprovisionamiento que se estén manejando en el momento del diseño del patio, se debe garantizar el abastecimiento del combustible para la totalidad de la flota.

Actualmente se cuenta con una flota de Diesel y gas natural, y es un condicionante especial para el diseño geométrico del patio, se debe garantizar el acceso de los vehículos que transporten el combustible o la conexión al sistema público de gas natural, no obstante, el operador del patio puede tener un grupo de buses que opere totalmente con Diesel, pero por el cruce de las rutas que se produce en el momento de la operación, se requiere de un punto de abastecimiento de la tecnología requerida según corresponda, o de cualquier otra tecnología que aparezca más adelante vinculada al sistema.

Electricidad

Aparte del sistema de abastecimiento de la flota, se debe garantizar la conexión de energía eléctrica para el funcionamiento de las instalaciones y equipos del patio de mantenimiento. Además, de que la infraestructura existente de la red de energía puede interferir y condicionar el diseño que se esté llevando a cabo, con el trazado de líneas de alta tensión o postes. Estos condicionantes y recomendaciones de diseño y operación, los da la empresa encargada de prestar el servicio, sin embargo, se tienen las siguientes recomendaciones:

- Evitar la construcción de edificaciones bajo el trazado de líneas de alta tensión, debido a la probabilidad del desprendimiento de un cable que pueda caer y dañar la flota o las edificaciones.
- Garantizar el gálibo vertical con el trazado de las líneas de alta tensión y además un distanciamiento horizontal respecto a las mismas.

Agua

El servicio de agua potable debe garantizarse para los edificios de bienestar, oficinas y administración del patio, pero también para las áreas de mantenimiento y lavado de vehículos,

a pesar de que se cuenta con una planta de tratamiento para la recirculación de agua que puede ser usada en el lavado de los automotores.

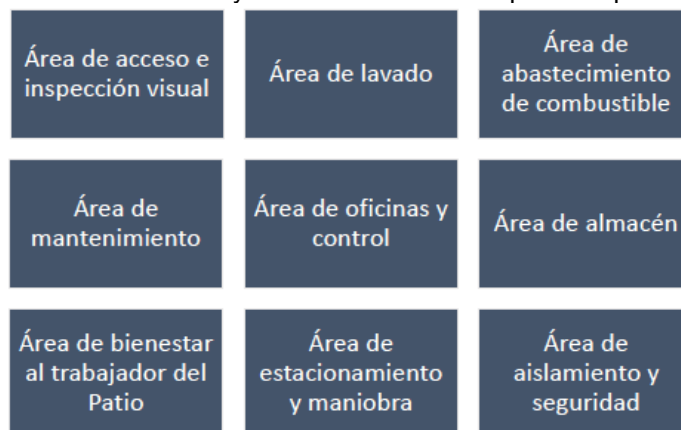
Alcantarillados

Como parte importante de las redes para tener en cuenta para el diseño geométrico es la red de alcantarillado, y como toda disposición de aguas se clasifican en alcantarillado sanitario y pluvial. El alcantarillado sanitario resultará del uso cotidiano de las instalaciones, de los baños y la parte del agua que se disponga después del tratamiento en la PTAR (planta de tratamiento de aguas residuales), sin embargo, es el alcantarillado pluvial el que tiene una especial injerencia en el diseño geométrico, ya que se debe garantizar la disposición de la totalidad de la escorrentía superficial producto de cualquier temporal. Esta evacuación debe realizarse totalmente por gravedad, dado que por las grandes áreas pavimentadas, requeriría un esfuerzo importante para garantizar su bombeo, situación no deseada.

2.1.4 Ciclo productivo

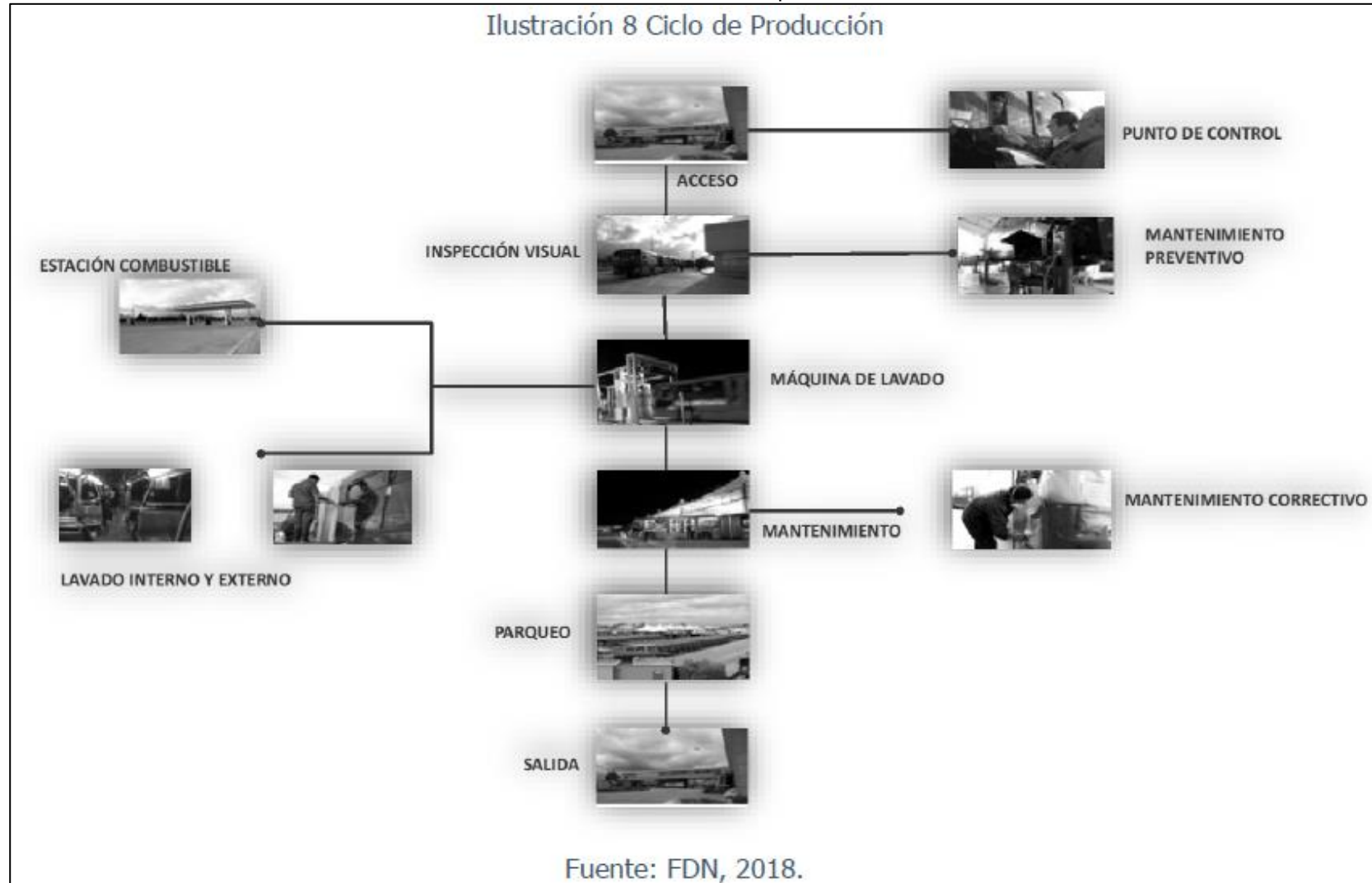
Para las especificaciones de los patios de mantenimiento, el principal referente que se tiene es Transmilenio S.A. como administrador del sistema en la ciudad de Bogotá. Esta entidad hace uso de su experiencia y por medio de los denominados anexos técnicos, apéndices y pliegos de condiciones, guía a los contratistas y operadores en el diseño de estos y es allí donde se empieza a dibujar una noción de los espacios requeridos para la correcta operación. El siguiente es un esquema con las principales áreas y servicios que requiere un patio de mantenimiento, de acuerdo con el anexo técnico de 2018, cuyo objeto era la adquisición de la nueva flota del sistema.

Ilustración 12. Áreas y Servicios Necesarios para la operación.



Fuente: (Transmilenio SA, 2018b)

Ilustración 13. Ciclo de Producción de un patio de mantenimiento.



Fuente: (Transmilenio SA, 2018b)

De los parámetros operacionales descritos en los documentos contractuales con los que se estructuran los proyectos, cabe destacar la identificación del ciclo productivo y las áreas requeridas para su funcionamiento: pero es el diseño geométrico el responsable de su distribución de acuerdo al espacio disponible, restricciones y dificultades presentadas, permitiendo de esta manera registrar, documentar y socializar los obstáculos que debieron superarse para llevar a cabo su diseño, construcción y operación de los patios de mantenimiento, permitiendo así una evolución constante que mejore las condiciones que se llevan a cabo.

▪ Inspección visual

El acceso contará con un espacio adecuado para recibir los buses que ingresan al patio, previendo la acumulación de los mismos sobre el espacio público. En esta área, se debe realizar la verificación de seguridad antes de entrar al patio, la revisión del estado de las llantas, posibles contingencias y llevar el registro de ingreso y salida de los buses troncales. Esta área será proyectada con las tasas de llegada de la flota durante la hora pico del patio, sin embargo, por las condiciones del sector, vías de acceso (sección transversal y estado) la seguridad del sector, esta tendrá condiciones particulares en cada patio.

Se plantea un espacio de espera de flota, circulación y casetas de seguridad para el personal que realiza la revisión. Las oficinas de control y vigilancia deben estar ubicadas en la zona de ingreso al patio, con un área cubierta para realizar el registro de las personas con validadores de ingreso, inspección vehicular y requisa de paquetes. En la siguiente fotografía, se resalta el área de acceso al patio norte del Sistema Transmilenio.

Ilustración 14: Entrada Patio de Mantenimiento Norte de Transmilenio.



Fuente. (Transmilenio SA, 2018b)

Además del registro de seguridad, en el área de inspección visual se llevarán a cabo las siguientes actividades (Transmilenio SA, 2018b):

- Control Operacional del Acceso
- Control de los horarios de salida y llegada
- Control de Rodamiento
- Control del odómetro (kilómetros recorridos)
- Registro operacional del conductor

Esto con el fin de mantener actualizado y en tiempo real, las condiciones de la flota que llega al patio de mantenimiento, ojalá con un sistema interconectado entre el operador de la flota y la empresa encargada del servicio de transporte.

▪ **Abastecimiento**

Esta área se debe permitir el abastecimiento de combustible para los automotores que lleguen al patio.² Teniendo en cuenta que se debe garantizar el abastecimiento de los buses que llegan para hacer intercambios operacionales como se ve en el título 2.1.5 Operación.

Esta área contará con las siguientes consideraciones:

- Bahías de abastecimiento para el combustible o energía requerido
- Cuarto de monitoreo.
- Acometidas de tuberías de gas o redes de energía eléctrica que permitan alimentar los puntos de carga requeridos para estas tecnologías.
- Área de tanques, compresores o subestación eléctrica
- Sistema para el control de derrames.

² Actualmente se cuenta con una flota que requiere Diesel o gas, a medida que se vayan implementando nuevas tecnologías, se debe garantizar esta conectividad y espacios dentro de los patios de mantenimiento.

- Trampa de grasas.
- Sistema de protección contra incendios.
- Canopes.
- Abastecimiento de combustible
- Surtidores de aditivo según consideraciones del proveedor y requerimientos de eficiencia del consumo de la flota.
- Zona de abastecimiento de agua para punto de control y prevención de incendios.
- Estar delimitada claramente bajo las normas que exigen las autoridades competentes y el proveedor.
- Zona de espera para vehículos que deben abastecerse de combustible

Esta área debe ser diseñada y construida conforme a las disposiciones normativas vigentes en Colombia³, para las tecnologías requeridas, siendo el operador el encargado de realizar las adecuaciones que se requieran para el suministro de energía o combustible

Se recomienda que el espacio de tanqueo garantice que la totalidad de la flota pueda ser abastecida en la noche y recargada de acuerdo con las necesidades de la tecnología y servicio que requiera la operación, sin embargo, es decisión del operador.

En la siguiente fotografía, se presenta un área de provisión de diésel, sin embargo, esta área contará con los requerimientos para el abastecimiento de las tecnologías que se hayan seleccionado para el patio. Ésta, debe tener una cubierta que la proteja de la lluvia y tener la iluminación suficiente que garantice el correcto desarrollo de las tareas que se desarrollen en horas de la noche.

³ Visite <https://web.mintransporte.gov.co/consultas/mercapeli/Reglamento/Normatividad.htm> para consultar la normativa vigente para la manipulación y transporte de combustibles.

Ilustración 15: Zona de abastecimiento típica (Diesel)



Fuente: (Transmilenio SA, 2018b)

▪ **Lavado**

Para el lavado de los buses se realizan tres actividades, dos de las cuales son diarias (lavado externo e interno) y otra programada correspondiente al lavado de chasis. En consecuencia, esta zona debe contar con un espacio que garantice:

- La ubicación del bus y posible ubicación de una cola de acumulación.
- El escurrimiento del agua sobrante
- Lavado de chasis.
- Cuarto técnico de compresores y equipo de bombeo.
- Tanques de almacenamiento agua fresca, agua tratada y agua lluvia.
- Cuarto de almacén para insumos industriales.
- Área de saneamiento básico para redes.
- Sistema de bombeo de lodos y cuarto de bombeo.
- Un espacio para la instalación de una planta de tratamiento de agua residual, adecuada a la necesidad de la recolección de este residuo.
- Sistema de reconexión de agua residual.

Se tiene que aprovechar el agua que resulta de esta actividad, siendo tratada para su reutilización o disposición, es por esto que se debe contar con una zona para el tratamiento y recircularla, de manera que permita reutilizarla en las mismas actividades de lavado o en otros usos dentro del patio como el riego de zonas verdes.

▪ **Lavado externo**

Esta actividad se realizará diariamente con una máquina de lavado y personal calificado. Sería ideal que se cuente con una acometida de agua potable y de la recirculación del agua tratada para su aprovechamiento.

Se tendrá un área física para el lavado previo, antes de la máquina de limpieza en donde esperará el bus y tendrá un espacio de un metro y medio circundante al bus que garantice el acceso de los operarios y equipos.

▪ **Lavado interno**

Al igual que el lavado externo, esta actividad se realiza diariamente y comprende la limpieza y desmanche de techos internos, vidrios, laterales, pisos y sillas, del vehículo automotor. El lavado interno se realizará en la zona de parqueo, con los equipos de trabajo que se determinen para el tipo y número de flota que tiene cada patio.

Ilustración 16. Lavado interno.



Fuente: (Transmilenio SA, 2018b)

▪ **Lavado de chasis**

Esta es una actividad de mantenimiento programado, con una frecuencia mínima de una vez por mes o de tres (3) veces al año; dependiendo de las condiciones climáticas o del sitio donde operará la flota. Normalmente se tiene que el lugar destinado para el lavado de chasis es el mismo al que se realiza el lavado externo donde está instalada la máquina de

lavado. Las aguas residuales producto de esta actividad serán conectadas a una red de tratamiento de aguas industriales.

El diseño y construcción de esta área debe estar correctamente iluminada, sobretodo al interior del cárcamo (o foso), también dispondrá de alimentación eléctrica para la conexión de equipos de lavado a presión.

Ilustración 17: Cárcamo para lavado de Chasis.



Fuente: (Transmilenio SA, 2018b)

▪ Zonas de mantenimiento

El área está dispuesta para realizar los mantenimientos preventivos y correctivos de los automotores en los patios. Esta zona generalmente cuenta con una cubierta de pocos apoyos con grandes luces de manera que se pueda cubrir en su totalidad el vehículo, la instalación de luminarias que garanticen visibilidad durante el trabajo en horas de la noche y que se dé la evacuación de las aguas lluvias.

La zona de mantenimiento contará con áreas claramente diferenciadas según el tipo de servicio que el bus requiera. Los espacios destinados a estos servicios contarán con todas las medidas de seguridad y aislamientos pertinentes.

De igual manera los cárcamos y plataformas estarán comunicados con un cárcamo técnico que permita facilitar el cableado entre áreas de mantenimiento; tendrá pases directos con la alimentación eléctrica o las redes de aire comprimido. Estas zonas son áreas multipropósito.

Las actividades realizadas dentro de esta área son de tipo programado dentro de las cuales se cuentan:

- Mantenimiento preventivo y correctivo.
- Cambio de llantas.
- Alineación y sincronización.
- Zona de gatos hidráulicos.

La actividad del área de mantenimiento está proyectada para funcionamiento durante las 24 horas del día sin restricción de servicios. Para la aproximación a esta zona, especialmente la de cárcamos, se tendrá un ancho de vía de circulación tanto a la entrada como a la salida de acuerdo a lo analizado en el capítulo 2.1.2 Vehículos de diseño, de manera que se permita el ingreso y salida totalmente alineado del bus al cárcamo, evitando la operación en reversa, dadas las dificultades que esto representa en vehículos articulados como lo son los buses del sistema.

A continuación, se presentan algunas condiciones que debe tener cada una de estas áreas especializadas, son definiciones generales y tomadas del manual de operaciones de Transmilenio (Transmilenio SA, 2018b):

- Llantas: Esta área es abierta donde debe parquearse un bus articulado o biarticulado, dotada de equipos y herramientas para el desmonte de llantas, balanceadora, área de almacenamiento de llantas nueva y usadas, bancos para reparación de llantas, bancos para herramientas, debe haber buena iluminación nocturna, es donde normalmente hay un cuarto de compresores con aislamiento acústico, y una oficina para el control administrativo del área.
- Área de mantenimiento mecánico: Esta es un área donde se realizan trabajos a nivel de suelo, se puede subdividir en área de tren motriz motor, caja de velocidades, diferencial, y área de trabajo de patio, frenos, suspensión y dirección. Habrá un área

dentro del taller para los equipos de máquinas herramientas, taladros, esmeriles, etc., preferiblemente cerrada con malla en donde se puedan ubicar bancos fijos y con ruedas donde los técnicos mantienen sus herramientas y repuestos, en esta área hay zona de almacenamiento de materiales reciclables tortillería etc.

- **Área ambiental:** En un área aislada del taller donde se realiza el acopio de materiales para reciclaje, disposición final o almacenaje temporal de cosas grandes o pesadas, esta área normalmente debe estar controlada por el personal de Ambiental.
- **Área de reconstrucción de componentes:** Esta es un área a donde se traen los motores, cajas de velocidades, accesorios eléctricos, laboratorio electrónico, laboratorio de los sistemas de inyección de combustible, reparación de accesorios de dirección, etc., todos estos elementos se traen para el lavado, desarme y reparación, hay también una zona de listos, donde se hace entrega al taller de los componentes ya reparados. Es una edificación que debe estar dividida por cuartos en donde normalmente se ubican ocho puestos de trabajo según cada especialidad, cada puesto de trabajo puede contar con un área para ubicación de bancos equipos y herramientas, es muy útil que tenga el techo un sistema diferencial para manipulación de cargas pesadas.

▪ **Zonas de pintura**

Acá se pueden distinguir dos espacios diferentes, latonería y pintura. Cada uno va a contar con un espacio separado, aislado, con capacidad para albergar cubriendo totalmente al vehículo que se esté trabajando, garantizando los pasillos para su alineación a la entrada y salida de esta construcción.

La actividad de pintura es de tipo correctivo y se realiza con una asignación programada de alta prioridad. La cabina se ubica generalmente adyacente o cercana a las áreas de mantenimiento de cárcamos y plataformas. Su orientación será en el sentido donde la afectación del viento no genere contacto de los gases (producto de esta actividad) con las áreas de trabajo donde interviene la mano de obra local.

El área de latonería se proyectará separada de la cabina de pintura. En esta área se realizarán trabajos de soldadura, por lo tanto, será un área cerrada y cubierta con especificaciones para reducir los riesgos incendiarios derivados de la actividad.

▪ Almacén

Esta zona se reserva para el almacenamiento de repuestos de la flota existente, generalmente cercana al área de mantenimiento para tener facilidades de acceso a los diferentes repuestos. El almacén de materiales es básicamente una bodega con un área de oficinas interna.

La bodega de almacén tendrá un área de recibo de materiales donde haya capacidad de parqueo de camiones de abastecimiento de materiales y maniobrabilidad de todo tipo de materiales propios para el funcionamiento del patio. Tendrá un alto estándar de seguridad, puertas y cortinas, con accesos para la entrada y salida de materiales grandes, y una puerta ventanilla para entrega de materiales pequeños, debe haber un área donde se pueda manejar la papelería del proceso de control de materiales.

▪ Parqueo

Las áreas de estacionamiento se proyectarán con la demarcación sobre pavimento con salida en el sentido de la vía. Según la disponibilidad de áreas de operación la acomodación de la flota puede ser sencilla o en cola doble o triple, dependiendo de las condiciones geométricas del lote y respetando el ciclo productivo del patio.

Las superficies de parqueo se proyectarán con acabado en pavimento rígido generalmente, con sus correspondientes sistemas de drenaje, además se dispone de espacios dentro de la misma flota, con el fin de que actúen como barrera para la posible propagación del fuego en caso de emergencia, estos cortafuegos pueden ubicarse libremente donde se separe la flota en grupos de aproximadamente 40 vehículos.

El área para el parqueo de una flota de buses está definida por el número de buses que se van a guardar, teniendo en cuenta dentro de las dimensiones, las áreas de acceso, circulación, vías para traslado de buses a tanqueo, mantenimiento o lavado y rutas de salida, inclusive de evacuación de emergencia.

El piso tendrá una resistencia de trabajo pesado para la circulación y parqueo, debe estar diseñado de tal manera que permita el drenaje de aguas lluvias, además de incluir trampas de grasas y aceites.

Normalmente los buses drenan, por evaporación o por fugas, aceites que caen al piso, para esto se debe tener impermeabilizadas estas zonas de tal forma que estos líquidos contaminantes no lleguen al subsuelo.

Las áreas por las que circulan los buses deben realizar de la manera más eficiente posible la maniobrabilidad y disposición de los buses, de tal manera que sea fácil entrar o salir del sitio de parqueo y además llegar a las otras áreas descritas en los puntos anteriores (inspección, abastecimiento, lavado, mantenimientos), garantizando que se puede acceder a cualquier parte del ciclo productivo, desde cualquier posición de parqueo (Transmilenio SA, 2018b).

El sentido de circulación de los buses en el ingreso y traslado interno a las diferentes áreas debe tener un sentido práctico de tal forma que se optimicen los tiempos y recorridos internos, se deben evitar la operación de reverso de los vehículos porque cuando el patio está lleno se hace muy riesgosa la maniobra y se pierde mucho tiempo.

Las vías deben estar señalizadas, demarcadas de tal forma que sea clara la lectura y orientación de cualquier persona dentro del patio, se debe contar con flechas en el piso indicando el sentido de circulación, señalización de la identificación de las áreas, señales de tránsito, restrictivas, informativas, rutas peatonales internas; etc.

▪ **Conexión con la troncal**

Anteriormente se pretendía mantener el patio de mantenimiento al lado del portal de la troncal que estaba atendiendo, sin embargo, actualmente por la consolidación de las ciudades, es difícil mantener esa condición ideal, lo que afecta negativamente los recorridos en vacío.

Al tener los patios de mantenimiento en lugares alejados de los portales de las troncales, se debe pensar en cómo se va a garantizar la accesibilidad de los buses troncales a dichos patios de mantenimiento, saber los recorridos, impacto sobre las zonas aledañas y condiciones geométricas que pueden afectar la operación (especialmente los radios de giro dadas las dimensiones de los vehículos de diseño).

▪ **Áreas de aislamiento y seguridad**

Son las áreas perimetrales del Patio en las que no se realizara ninguna intervención de modo que las áreas productivas del Patio se aislen de cualquier tipo de vecindad. Incluye las áreas o fragmentos remanentes al interior del Patio. Pueden tener manejo de áreas verdes y/o arborizadas. Se tendrá en cuenta los espacios de aislamiento del Patio, cerramientos, zonas de seguridad, canales, reserva ambiental, etc.

2.1.5 Operación

Hasta ahora se ha hablado de cada uno de los elementos que componen el Patio de mantenimiento, sin embargo, es la vinculación de estas actividades las que conforman el ciclo productivo del patio.

Las diferentes actividades que se llevan a cabo en el patio de mantenimiento pueden clasificarse en cuatro etapas que son las siguientes:

- Acceso al Patio y control de flota
- Inspección visual, abastecimiento y limpieza
- Mantenimiento
- Parqueo

Cada etapa necesita un espacio determinado, sin embargo, esas actividades no se llevan a cabo diariamente ni al mismo tiempo para toda la flota, por lo que durante el ciclo de producción, los vehículos pueden requerir la realización de unas etapas y no de otras; de acuerdo con su condición operacional.

Los ciclos de producción que generalmente son programados en la operación de los Patios son los siguientes:

Tabla 2. Ciclo de producción. Fuente: Transmilenio SA.

CICLO DE PRODUCCIÓN					
Etapas	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5
	Diario	Diario	Programado	Diario	Programado
1	Acceso	Acceso	Acceso	Acceso	Acceso
2	Inspección Visual	Inspección Visual	Inspección Visual	Inspección Visual	Inspección Visual
3	Abastecimiento	Parqueo	Lavado Interior	Mantenimiento	Lavado de Chasis
4	Lavado exterior	Salida	Abastecimiento	Abastecimiento	Lavado exterior
5	Lavado interior	X	Parqueo	Lavado exterior	Lavado interior

Fuente: (Transmilenio SA, 2018b)

A continuación, se presentan algunas recomendaciones que se tendrán en cuenta en el momento en que se realicen los diseños de detalle.

- Dadas las exigencias a las que se va a ver sometida la infraestructura de este tipo, condiciones climáticas, presencia casi constante de polvo grasa y agua, se debe tener una alta resistencia y durabilidad de la estructura de pavimento, por lo que se recomienda la utilización de pavimento rígido.
- El piso de las zonas de lavado y mantenimiento debe tener una capa de impermeabilizante que lo proteja del agua y las grasas que se puedan regar del uso cotidiano.
- Otra condición especial a tener en cuenta es la iluminación, es un equipamiento que funciona 24 horas en la mayoría de los casos, por lo que, tanto para las vías de acceso, como en todo el patio se debe garantizar la visibilidad, aún en horas de la noche.
- Dentro de las estructuras adicionales para las que se debe garantizar un espacio dentro del patio son:
 - Zona de almacenamiento de combustible en caso de ser Diesel o el punto de abastecimiento de gas con su respectiva planta eléctrica.

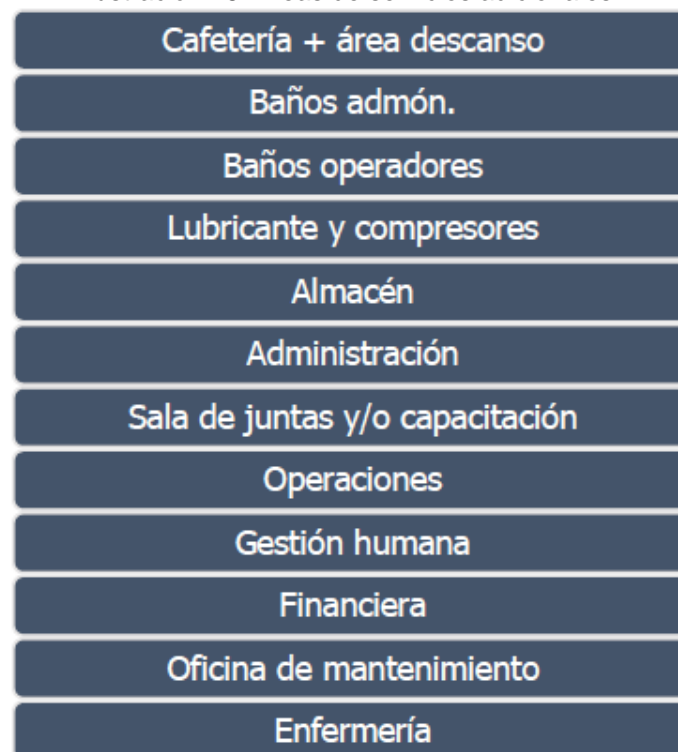
- Un tanque de agua y su correspondiente reserva con capacidad suficiente para satisfacer las necesidades del patio
- Una planta eléctrica, con la capacidad necesaria para el suministro de energía a los equipos vitales, de emergencia y de seguridad.
- Buscar que el manejo de aguas lluvias, permita recolectar el agua para utilizarla para lavado.

2.1.6 Servicios adicionales

Se entiende que el patio de mantenimiento, aunque esencialmente atiende a las necesidades de vehículos automotores, requiere de áreas para sus trabajadores y operarios para su correcto funcionamiento.

Como espacios necesarios para el funcionamiento del patio, se dispone de instalaciones en las que se surten las funciones operativas de: almacén de repuestos, racks de insumos y residuos del mantenimiento, oficinas de control y administración, servicios de bienestar, baterías de aseos, cuartos técnicos, puntos de seguridad, manejo de residuos, entre otros que se describen a continuación:

Ilustración 18: Áreas de servicios adicionales.



Fuente: (Transmilenio SA, 2018b)

Esta área, según datos de Transmilenio es aproximadamente el 2.7% del área útil del lote, no obstante, el concesionario puede optimizar su programa de áreas de acuerdo con su logística y operación del Patio. Además de garantizar la circulación peatonal entre los diferentes módulos y áreas operativas del Patio.

▪ **Áreas de oficinas y control**

Para las zonas de oficinas se tendrá en consideración la cantidad de personal administrativo que debe mantener y operar el Patio. Se deben cumplir la normativa existente acorde al uso de la edificación.

▪ **Bienestar para los trabajadores**

Se dispondrá una zona de descanso para los trabajadores y conductores del Patio. Dentro de los servicios que tendrá se encuentra como mínimo los siguientes:

- Baños
- Zona de Capacitación de conductores.
- Zona de descanso y relajación.
- Zona de cafetería.

Ilustración 19. Zonas destinadas para los trabajadores



Fuente: Elaboración propia con Google Earth.

3. Características de diseño

En el presente capítulo se muestran recomendaciones y posibilidades de diferentes escenarios que se tienen en la práctica profesional, no corresponden a una única solución, sino brindar al diseñador una guía metodológica para el diseño geométrico teniendo en claro los requerimientos que deben analizarse en las diferentes etapas del diseño geométrico.

Los objetivos que se deben lograr en cualquier diseño geométrico hacen referencia a la seguridad, ahorro económico, comodidad, funcionalidad y flexibilidad (Agudelo, 2002). A continuación, se dará una breve explicación de la aplicabilidad en el diseño geométrico de los patios de mantenimiento.

Seguridad

La seguridad en cualquier diseño geométrico debe ser la principal premisa que se tenga en cuenta, es desde un aspecto operacional, diferente al de cualquier carretera, el que se enfoca en esta ocasión, prever posibles condiciones peligrosas, como por ejemplo dejar el tanque de almacenamiento de combustible en una zona que puede causar combustión, equipos mecánicos cercanos a zonas residenciales, edificaciones para el servicio del patio en zonas de riesgo de inundación o bajo una línea de alta tensión, etc. Cualquier situación que pueda preverse desde el diseño geométrico, junto con las demás especialidades, debe promover la seguridad de los diferentes actores que pueden encontrarse en el patio

Ahorro económico

Hay que saber, que la influencia del diseño geométrico en el presupuesto es directa. Cualquier decisión de ubicar una parte del ciclo productivo en X parte, tiene que estar debidamente justificada y sustentada para evitar posibles inconvenientes, asimismo,

altimétricamente, cualquier ajuste que se pueda llegar a tener, puede representar un ahorro o costo sustancia, las estructuras de pavimento resultan ser exigentes, y con áreas lo bastante grandes como para poner especial cuidado en estas observaciones.

Comodidad

El aspecto de comodidad se quiere hacer referencia a la comodidad de la operación, garantizar, desde la infraestructura el correcto funcionamiento del ciclo productivo, evitando empozamientos de agua o sobre recorridos para acceder a cualquier servicio del ciclo productivo.

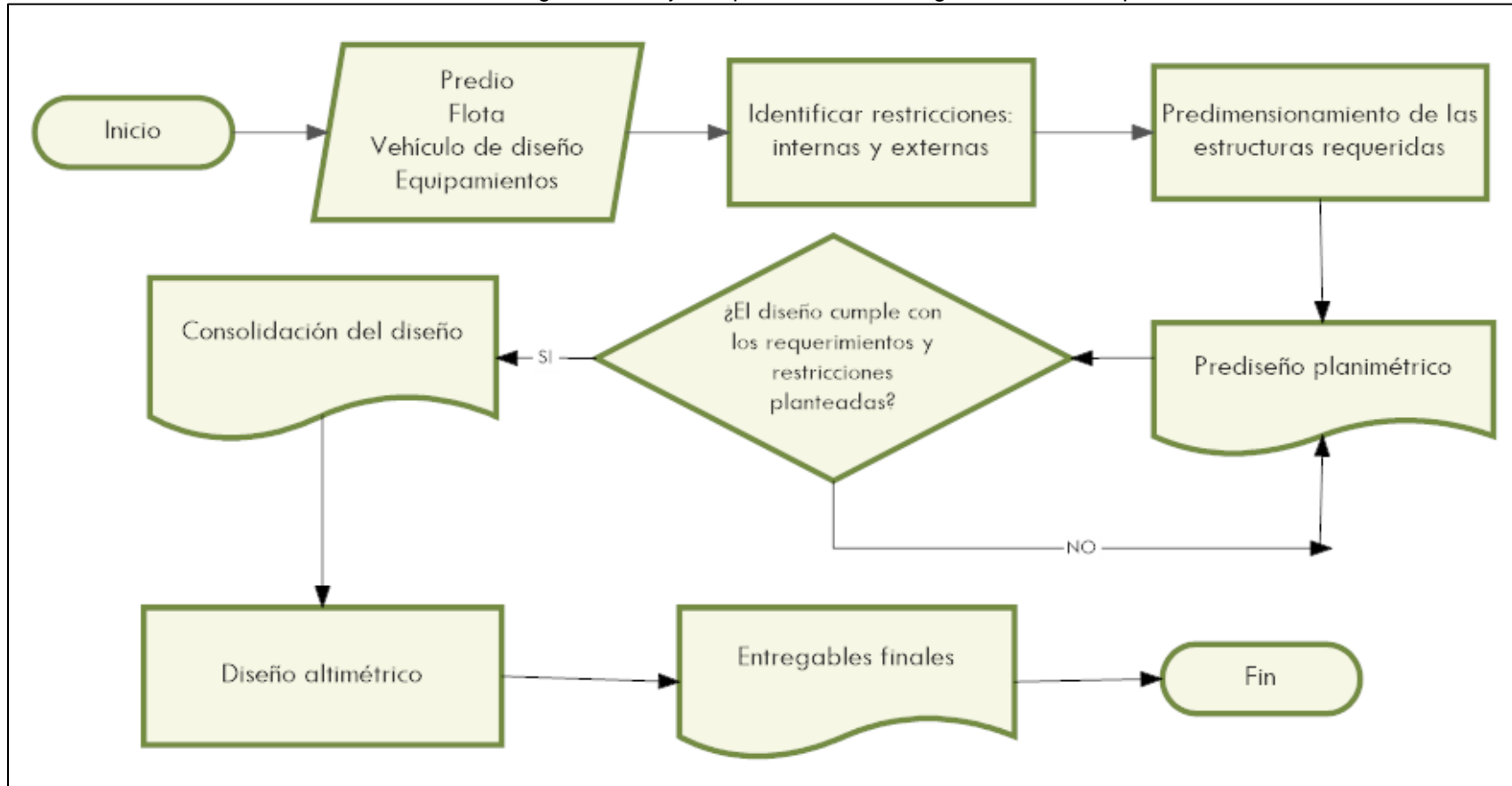
Funcionalidad

Se debe garantizar que el ciclo productivo se llevará a cabo en su totalidad, que se prestará el servicio a toda la flota de manera eficiente, para esto es importante integrar a las diferentes disciplinas que participan en el diseño de todo el patio, para saber diferentes puntos de vista y brindar una solución a todas las dificultades que se puedan brindar.

Flexibilidad

Dependiendo de la etapa en la que se encuentre el proyecto, se pueden presentar cambios en los planteamientos hechos de un diseño determinado. Por ejemplo, si se está en una etapa de prediseño o factibilidad, se va a llegar a un alcance menor de lo que sería para una etapa de construcción, o con un patio existente que ya está operando, y se plantean modificaciones, se debe garantizar la operación, aunque sea parcial, para poder continuar con las obras de construcción. También puede presentarse que los lugares de abastecimiento o mantenimiento estén ocupados, por lo que se debe brindar la flexibilidad para ocupar otra parte del ciclo productivo, para retomar su destino una vez esté disponible. Teniendo clara la hoja de ruta que se quiere seguir, se describen ahora los diferentes parámetros de entrada y el proceso que se debe tener en cuenta para el diseño geométrico.

Ilustración 20. Diagrama de flujo del proceso de diseño geométrico de un patio.

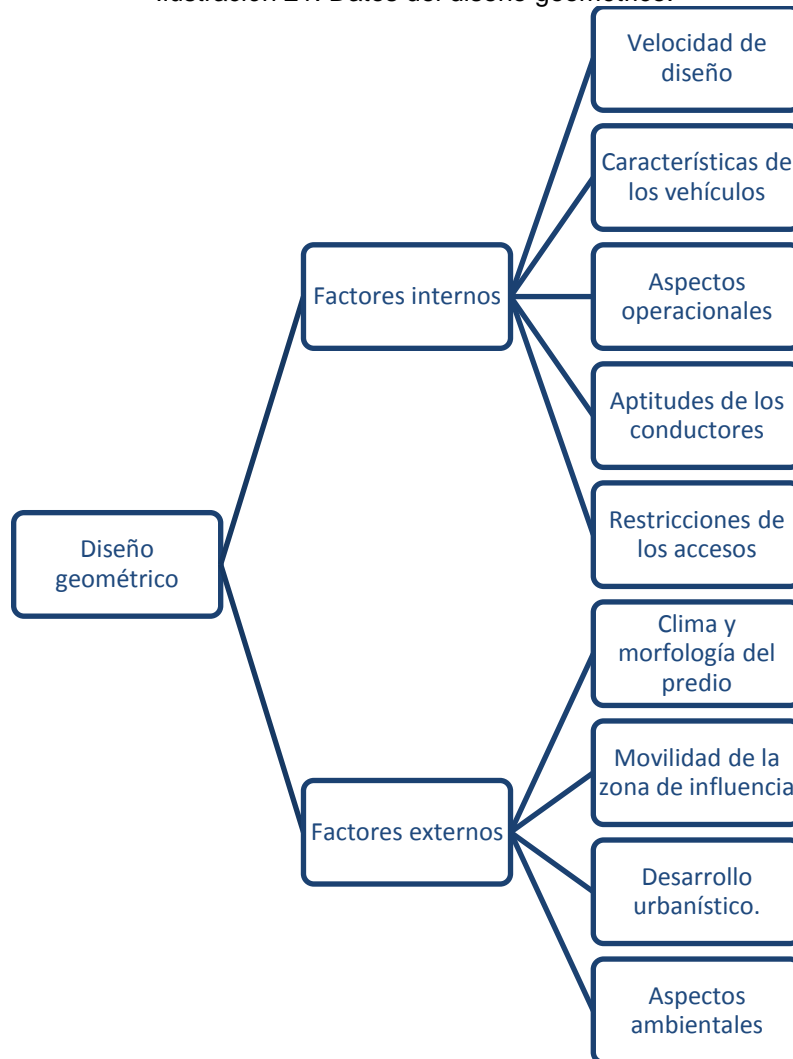


Fuente: Elaboración propia

3.1 Datos de diseño

Se tienen unos factores que influyen en el diseño geométrico y por consiguiente en la toma de decisiones, de manera que se puedan hacer óptimos en términos técnicos y económicos. Dichos factores se pueden catalogar en factores internos y externos (Agudelo, 2002). Es importante hacer esta distinción para saber que el diseño implementado en un sitio está susceptible a mejorarse y no se puede replicar en otro lugar sin analizar las condiciones específicas.

Ilustración 21. Datos del diseño geométrico.



Fuente: Elaboración propia con base en (Agudelo, 2002).

Datos de Diseño Internos

Los datos de diseño internos hacen referencia a los que son particulares de acuerdo con la operación y requerimientos de cada proyecto, como el vehículo de diseño -en este caso son buses articulados y biarticulados-, condiciones operacionales -las descritas en el ciclo productivo-, restricciones propias de cada nuevo diseño que hacen imposible poder replicar un diseño en otro lugar.

Datos de Diseño Externos

Mientras que los factores externos, son de las condiciones propias del lugar en el que se está llevando a cabo el diseño, aspectos que se salen de la operación propia del patio, como por ejemplo el clima y la morfología del predio en el que se va a construir, los volúmenes vehiculares si se cuenta con una interacción con tránsito mixto o con peatones externos del personal encargado de la operación o condiciones para los vertimientos de las aguas resultantes del ciclo productivo.

3.2 Diseño planimétrico

Como ya se ha mencionado anteriormente, desde el diseño geométrico se debe garantizar el acceso a los servicios que debe prestar para toda su flota, además de los operarios que usan estas instalaciones, además de ser el determinante para la organización y distribución de todos estos espacios, a continuación se darán unos lineamientos para determinar los espacios requeridos para cada una de las partes del ciclo productivo, y a continuación un ejemplo aplicado a diferentes condiciones que se pueden encontrar en el diseño geométrico.

3.2.1 Pre - Dimensionamiento:

De acuerdo con los requerimientos descritos en el Capítulo 2 de Generalidades para cada una de las actividades, se plantea a continuación el tamaño de los diferentes espacios que hacen parte del ciclo productivo. Usando una herramienta de dibujo asistido por computadora, AutoCAD Civil 3d en su versión 2020, se harán los diferentes bloques que se usarán para emplearse en el diseño geométrico, el resultado de dicho pre-dimensionamiento se puede ver en el Anexo 1.

▪ Entrada y salida

Dependiendo de la ubicación del predio en el que se ubicará el patio de mantenimiento, se debe diseñar una entrada y/o salida especial. En este espacio se llevará a cabo el control de acceso, registro operacional del vehículo y conductor encargado, además de la inspección visual, por lo que se debe tener un espacio para garantizar que el acceso se efectúe de manera controlada y una caseta para el personal encargado de realizar dichas tareas. Si el acceso tiene una interacción con vías de tránsito particular, se debe mitigar el efecto que se puede generar por colas en el acceso.

A continuación, se pueden observar ambos casos, donde se tiene en la Ilustración 22 un patio con acceso desde el portal sin necesidad de afectar la infraestructura circundante y en la Ilustración 23 un patio que está separado del portal, que debe crear una bahía de acumulación, que permita minimizar el efecto de congestión que se pueda presentar allí. Para saber cuál alternativa de diseño es óptima, debe tenerse en cuenta el análisis de tránsito que valide las propuestas de mitigación que se hagan según sea el caso, además de las demás posibles restricciones que existan desde las demás áreas que influyen en el diseño del patio.

Ilustración 22. Acceso del patio directamente.



Fuente: Elaboración propia con información de Transmilenio SA.

Como se puede observar en la Ilustración 23, la zona de acumulación se recomienda que deba permitir el sobrepaso del tránsito mixto, y una acumulación de **por lo menos un bus** para evitar atascos a las afueras del patio, a pesar de que es parte de la programación de los operadores del patio, se debe prever esta situación desde el diseño geométrico

Ilustración 23. Ejemplo de acceso a un patio modificando el entorno.



Fuente: Elaboración propia con información de Transmilenio SA.

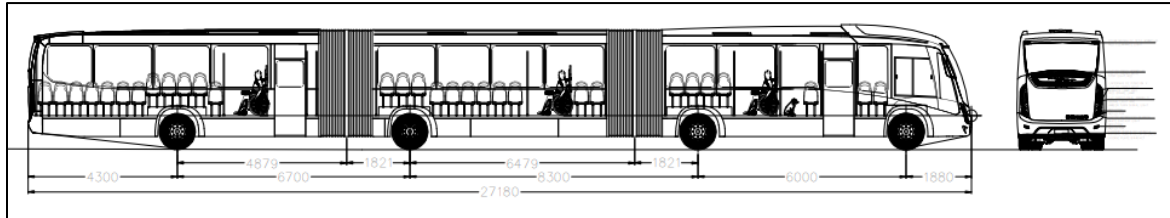
▪ Vehículo de diseño

Hay que tener en cuenta las características del vehículo que se esté manejando en cada proyecto. En la mayoría de las ciudades del país, el vehículo de diseño corresponde a un bus articulado simple, que tiene una longitud aproximada de 18 metros, con dos cuerpos rígidos unidos por una articulación y propulsado por combustible Diesel o gas natural, sin embargo, en la ciudad de Bogotá el vehículo de diseño corresponde a los buses biarticulados

De acuerdo con los documentos técnicos de (Transmilenio SA, 2018a) describe el bus biarticulado como un vehículo de plataforma alta, tres vagones o secciones rígidas con una longitud total que varía entre los 26 y 27.3 metros.

Las características de propulsión, longitudes, radios mínimos y demás especificaciones mecánicas del vehículo, son propias de cada fabricante por lo que es obligación de la entidad contratante brindar la información necesaria al especialista del diseño geométrico.

Ilustración 24. Características bus biarticulado de la ciudad de Bogotá



Fuente: (Financiera de Desarrollo Nacional and SCANIA, 2018)

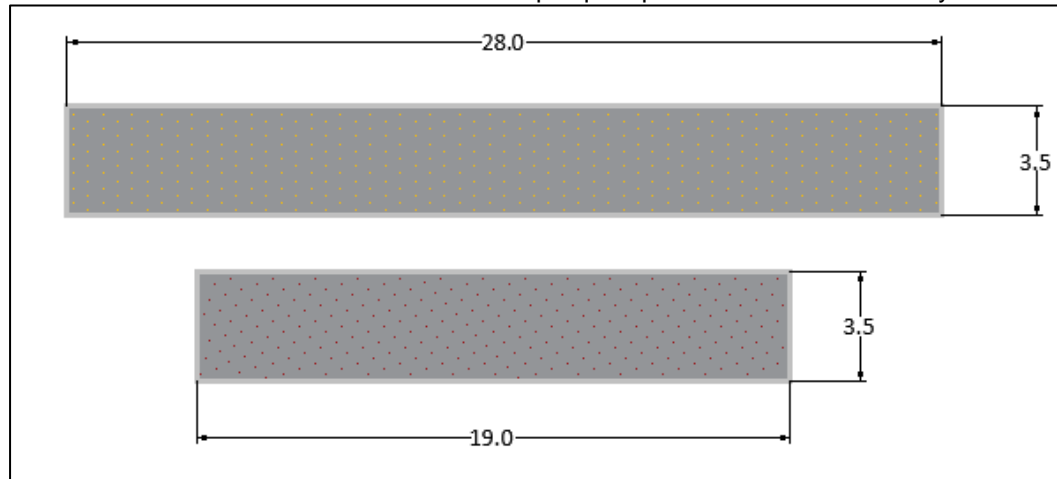
A partir de esas características se plantearon las pruebas de campo -como se describió en el numeral 2.1.2 Vehículos de diseño-, que permitieron determinar el comportamiento del vehículo para identificar las condiciones iniciales de diseño.

▪ Baterías de parqueo

Teniendo en claro las dimensiones, bondades y dificultades que se tiene con un vehículo biarticulado, se va a dimensionar el tamaño de las baterías de parqueo, donde con las pruebas de campo se observó que:

- El largo de los cajones de parqueo debe ser un metro más de la longitud del bus, con la finalidad de garantizar una tolerancia en las maniobras y seguridad entre vehículos.
- El ancho de los cajones de parqueo debe permitir la apertura de puertas, el sobrepaso sin golpear los espejos entre vehículos y acceso del personal operativo de la flota.

Ilustración 25. Dimensiones de las baterías de parqueo para buses biarticulados y articulados.



Fuente: Elaboración propia.

Las dimensiones unitarias de cada área de parqueo según el tipo de vehículo son:

Tabla 3. Medidas cajones de parqueo

Área de unidades simples	Longitud (m)	Ancho (m)
Articulado	19	3,2 a 3,5
Biarticulado	28	3,2 a 3,5

Fuente: Elaboración propia.

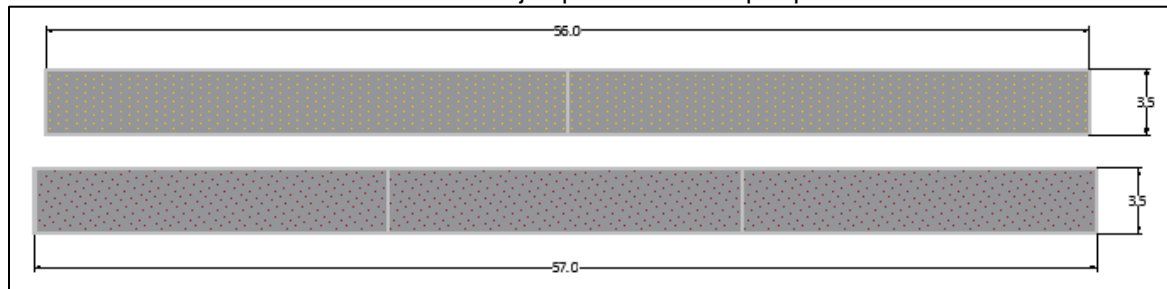
El ancho varía según las características de los vehículos y de las disposiciones de las baterías de parqueo. ser de mínimo 0.5 metros más anchos de lo que mide el bus, al menos para el parqueo a 90 grados, resultando 3.2 metros para buses articulados, mientras que para buses biarticulados 3.5 metros, lo que podría representar un ahorro de espacio, sin embargo, si se tiene un cruce de flota, es conveniente mantener el ancho constante, de manera que la operación permita el uso de buses biarticulados o articulados indistintamente. Sin embargo, en la operación de un patio taller, se observa un cruce de flota, los buses de todos los operarios no son iguales, por lo que se debe garantizar la operación del vehículo más restrictivo, en este caso, el bus biarticulado.

Tabla 4. Dimensiones vehículos de diseño.

Descripción	Biarticulados	Articulados
Largo del vehículo	27.1 m	18 m
Largo de la batería de parqueo	28.0 m	19 m
Ancho del vehículo	3.0 m	2.8 m
Ancho de la batería de parqueo	3.5 m	3.2 m

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 26. Ejemplo baterías de parqueo.



Fuente: Elaboración propia

En la Ilustración 26, se muestra un ejemplo, donde si se mantiene el ancho de las baterías de parqueo de 3.5 metros, en el mismo espacio donde parquean tres (03) buses articulados, se pueden posicionar dos (02) buses biarticulados, sin necesidad de cambiar el diseño geométrico, sino solamente adecuando la operación a esta situación que se puede presentar.

Anchos de pasillo de entrada y salida (Pruebas de campo)

En la Tabla 5. Parámetros guía como resultado de las pruebas de campo., se presenta un cuadro resumen con los resultados de las pruebas de campo llevadas a cabo el 30 de noviembre de 2018, dichas medidas pueden ser utilizadas en el parqueo, sin embargo, también para acceder y salir de las diferentes instalaciones presentes en el patio, como lugares de mantenimiento, lavado, latonería y pintura, etc.

Tabla 5. Parámetros guía como resultado de las pruebas de campo.

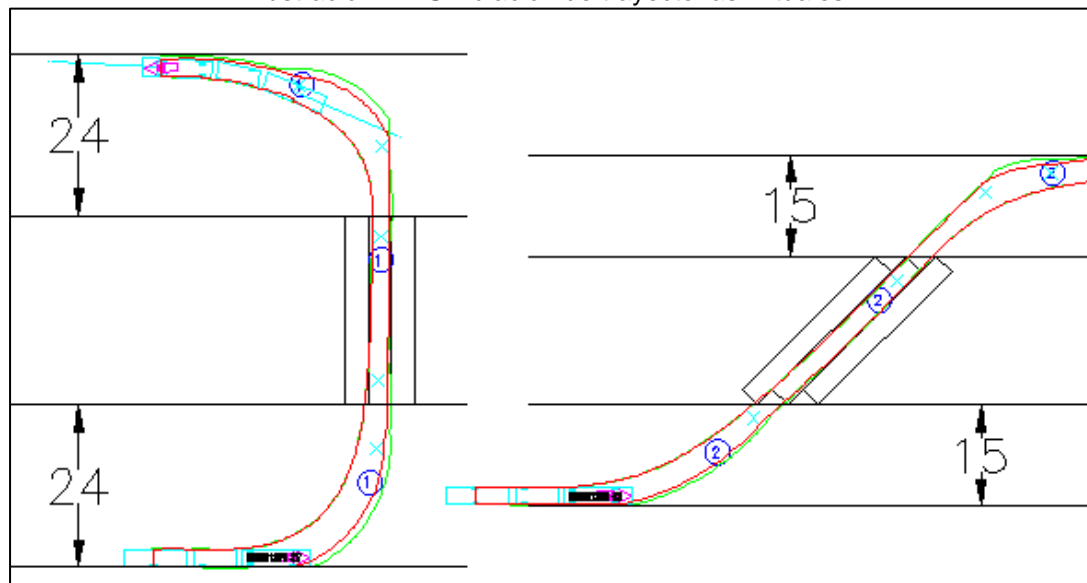
Condición/Requerimiento	Cajones a 90° Biarticulado	Cajones a 45° Biarticulado
Ancho libre para el ingreso al lugar de parqueo	19m	12m
Ancho libre para la salida del lugar de parqueo	19m	12m
Ancho mínimo del cajón de Parqueo	3,5m	3,2m
Longitud (considerando la inclinación) de cajón de parqueo	28m	28m

Fuente: Elaboración propia.

Anchos de pasillo de entrada y salida (Simulaciones con software)

Se realizó una simulación con el software Vehicle Tracking 2018, de la herramienta Autodesk, para identificar las diferencias de las medidas obtenidas en campo con las obtenidas con la simulación de computador; arrojando como resultado unas distancias mayores debido a que la trayectoria hecha en campo no se puede simular correctamente a pesar de que los parámetros del vehículo sean los suministrados por Transmilenio para la revisión de sus diseños.

Ilustración 27. Simulación de trayectorias virtuales.



Fuente: Elaboración propia con Autodesk.

En la Tabla 6, se presenta un cuadro resumen con los resultados de las simulaciones hechas con el software.

Tabla 6. Parámetros guía como resultado de la modelación con software.

Condición/Requerimiento	Cajones a 90° Biarticulado	Cajones a 45° Biarticulado
Ancho libre para el ingreso al lugar de parqueo	24 m	15 m
Ancho libre para la salida del lugar de parqueo	24 m	15 m
Ancho mínimo del cajón de Parqueo	3,5m	3,2m
Longitud (considerando la inclinación) de cajón de parqueo	28m	28m

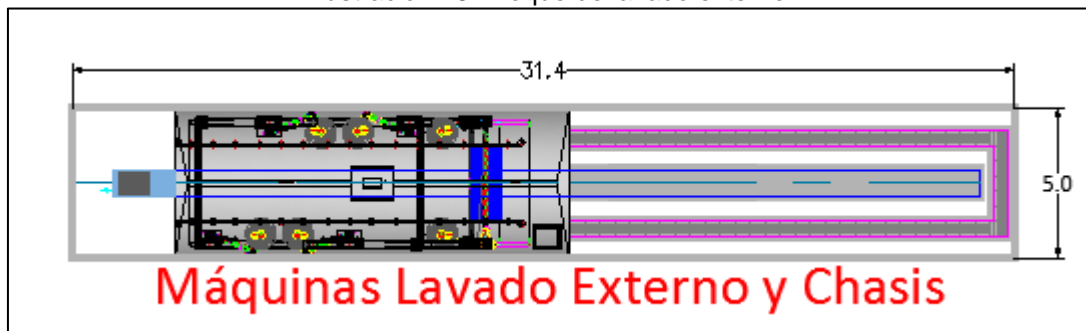
Fuente: Elaboración propia.

▪ Lavado interno y externo

La actividad de lavado externo e interno debe prever la ubicación del equipo mecánico capaz de realizar dicha tarea, asimismo de tener presente la alimentación eléctrica y de acueducto para llevarla a cabo.

Con el vehículo de diseño definido -el bus biarticulado-, se tiene un bloque de cinco (5.0 m) metros de ancho y 31.5 metros de largo aproximadamente, de manera que quepa un bus biarticulado y la máquina encargada de realizar el lavado de chasis, facilitar la ubicación del cárcamo y evitar así posibles accidentes. A continuación, se muestra las dimensiones aproximadas para el bloque de lavado externo.

Ilustración 28. Bloque de lavado externo.



Fuente: Elaboración propia con información de Transmilenio SA.

De ser posible, contigua a esta zona, debe haber una zona dispuesta para el escurrimiento de los vehículos, de manera que se disminuyan las pérdidas de agua por evaporación o infiltración y así mejorar la efectividad en la recirculación del agua que es necesaria en el patio.

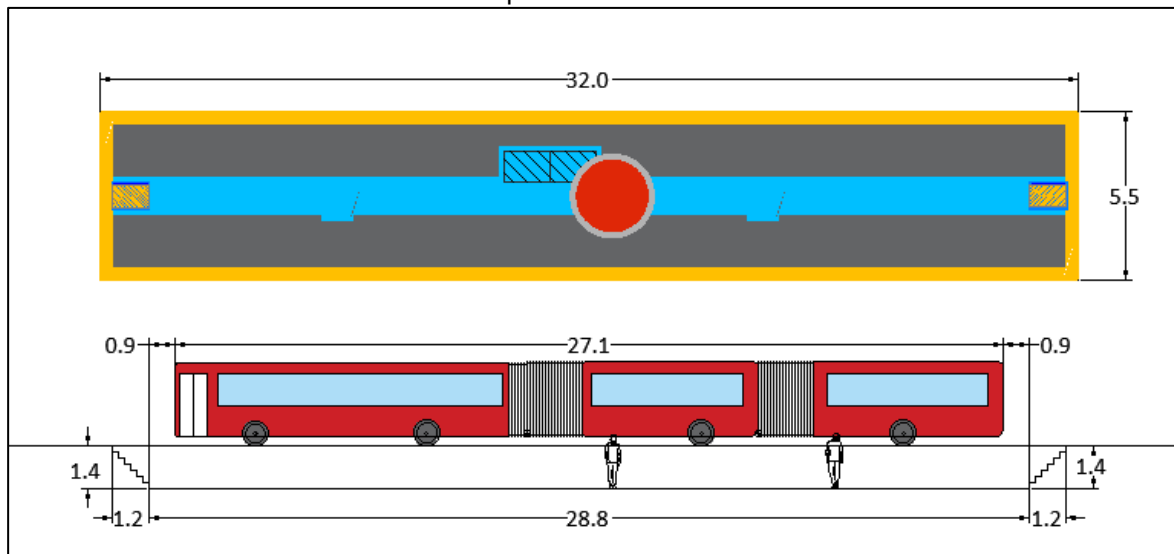
Para la localización del sitio de lavado se debe tener en cuenta el entorno, situación bastante importante que, de acuerdo con la experiencia de los diferentes especialistas consultados, se han producido problemas con los vecinos de la infraestructura debido al ruido que producen los equipos mecánicos, como también la salpicadura que se puede llegar a dar por el desarrollo normal de dicha actividad.

▪ Zonas de mantenimiento

~~Como se explicó anteriormente, se tienen~~ Existen dos tipos de mantenimientos en los patios, preventivo y correctivo, en términos prácticos, se tiene que el mantenimiento preventivo no tiene un cárcamo para acceder por debajo a la parte mecánica del automotor, mientras que el mantenimiento correctivo si hace necesaria la inclusión de un cárcamo para el acceso a diferentes zonas.

A continuación, se muestran las diferentes características de los bloques de mantenimiento usados para el diseño geométrico. En la Ilustración 29 se puede observar el bloque de mantenimiento correctivo, en planta es similar a una bahía de parqueo, sin embargo, es bastante más ancha (5.5 metros), para garantizar que cabe el vehículo y se puede transitar alrededor de él e incluso utilizar equipos para su mantenimiento. En la mitad cuenta con un cárcamo de 1.2 metros de ancho y una profundidad que debe estar entre 1.2 y 1.5 metros, esto con la finalidad de que quepa un operario correctamente y pueda tener acceso a las partes del vehículo que necesite.

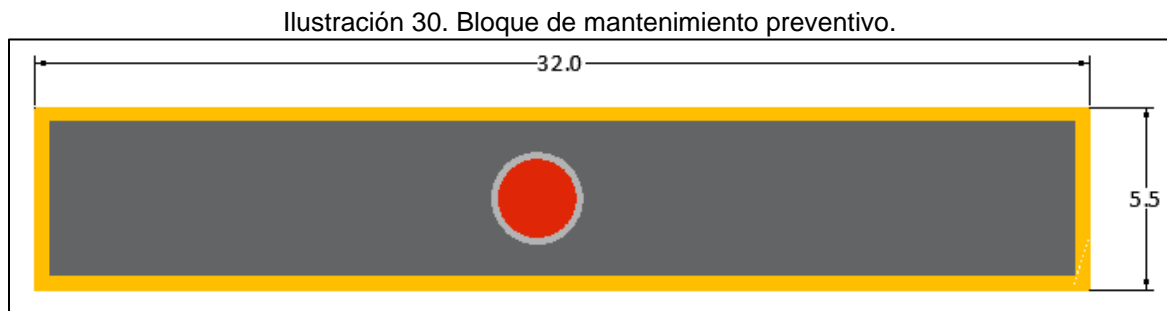
Ilustración 29. Bloque de mantenimiento correctivo.



Fuente: Elaboración propia.

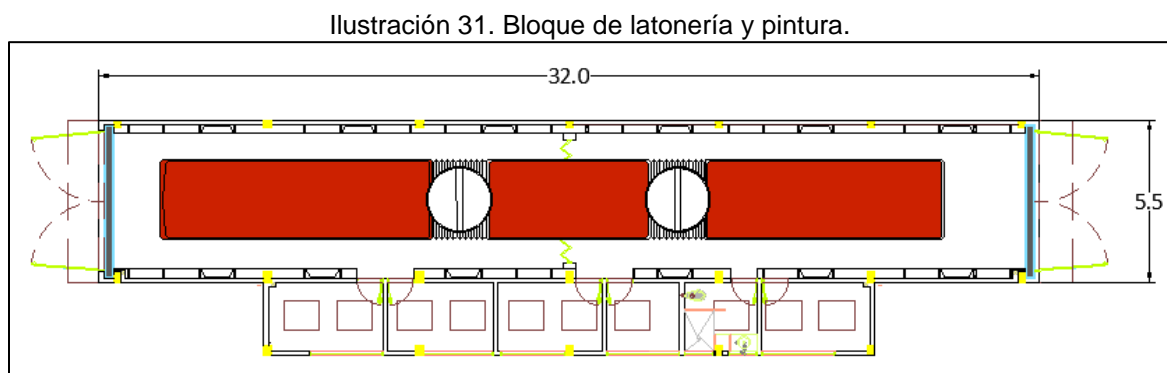
El mantenimiento correctivo puede darse también con la ayuda de un gato hidráulico, sin embargo, su uso o adopción es decisión del operador del patio, condición que permitiría convertir puestos de mantenimiento preventivo en lugares de mantenimiento correctivo.

En la Ilustración 30 se tiene el bloque de mantenimiento preventivo, tiene las mismas dimensiones de largo y ancho – 32 y 5.5 metros respectivamente-, que el módulo de mantenimiento correctivo, sin embargo, no cuenta con el cárcamo de acceso.



Fuente: Elaboración propia.

Generalmente, contigua a las zonas de mantenimiento o muy cerca, se cuenta con una edificación destinada para latonería y pintura, dicha estructura debe tener unas dimensiones mínimas de 5.5 metros de ancho con 32 metros de largo. De esta manera se puede garantizar el acceso de un bus biarticulado, y el acceso de equipos y personal necesario. Esta estructura debe ser cerrada, especialmente para evitar problemas en el proceso de pintado y preferiblemente, dejarlo lejos de la zona de abastecimiento para evitar cualquier explosión que pueda ser causada por la liberación de gases.



Fuente: Elaboración propia.

Para saber la cantidad de puestos de mantenimiento es necesario hacer un análisis de la vida útil de los automotores, donde inicialmente, al tener una flota nueva el mantenimiento es casi nulo, sin embargo, a medida que avanza el tiempo de uso de la flota, se hace

necesario un mantenimiento preventivo, y en menor medida el mantenimiento correctivo, correspondiendo a un porcentaje del total de la flota existente.

Tabla 7. Cantidad de puestos de mantenimiento de acuerdo con el tamaño de la flota del patio.

Descripción	Puestos de mantenimiento en función del tamaño de la flota (buses)		
	<150	150 - 300	>300
Mantenimiento correctivo	3	5	10
Mantenimiento preventivo	7	8	10
Latonería y pintura	1	2	3

Fuente: Elaboración propia.

▪ Abastecimiento de combustible

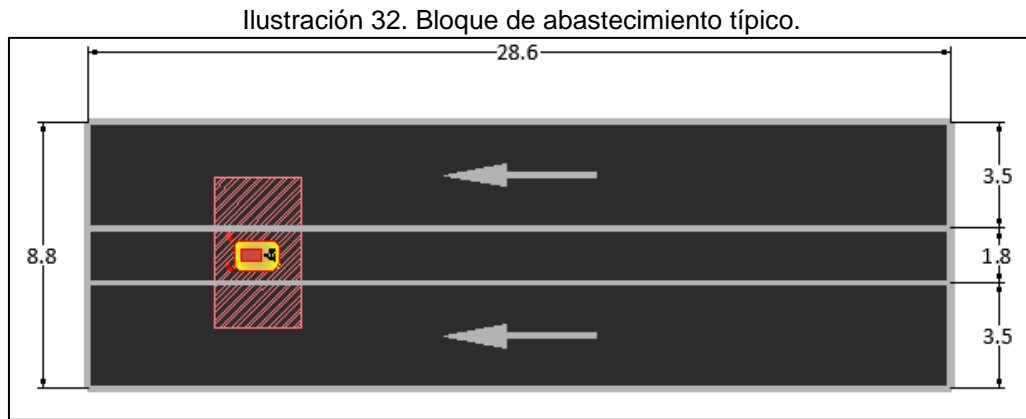
Se sabe que el abastecimiento va directamente relacionado con las tecnologías disponibles en el momento de la concepción de cada proyecto y pueden ser los cambios más inmediatos que pueda tener el transporte en general. Actualmente en el sistema BRT de la ciudad de Bogotá, sólo se tienen buses que funcionan con sistema de combustión de Diesel o con Gas Natural.

El abastecimiento es una de las tareas que deben hacerse diariamente, por lo que es un punto crítico del ciclo productivo, donde una buena planeación de la operación es crucial para evitar el colapso del patio. La cantidad de puntos de abastecimiento dependen del tamaño de la flota, de la velocidad con que se pueda llenar el tanque de cada bus y en general de los requerimientos del operador del patio.

Con la tecnología que se tiene, un vehículo que necesite ser llenado con Diesel, con surtidores de alta tasa, pueden hacerlo en 3 minutos, sin embargo, para un vehículo que necesite Gas Natural, tarda aproximadamente 6 minutos en llenarse completamente. En la Ilustración 32 se muestra el bloque de abastecimiento típico, que no varía necesariamente entre estas dos tecnologías, sin embargo, hay otras estructuras que aquí no se muestran.

Si es un sistema de abastecimiento Diesel, se debe prever la existencia de tanques de almacenamiento, esto con el fin de evitar la cercanía con posibles agentes de riesgo que puedan causar explosiones. Generalmente estos tanques van enterrados, por lo que no

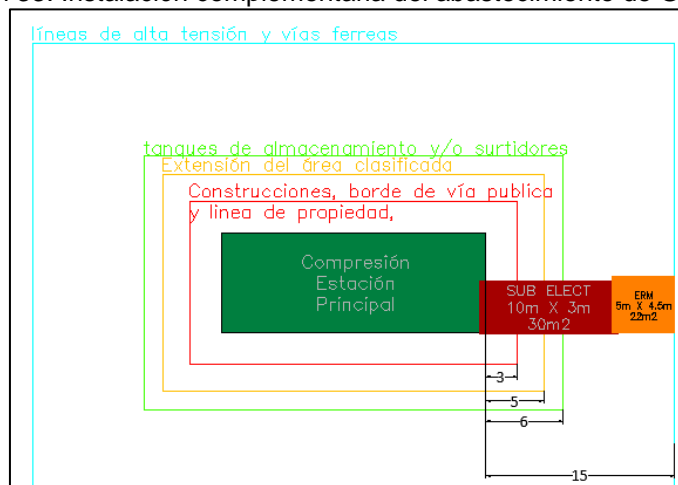
debe hacerse ninguna estructura a nivel, sin embargo, se debe prever y garantizar el acceso a vehículos surtidores de combustible.



Fuente: Elaboración propia.

Pero si es un sistema de abastecimiento de Gas Natural, se debe prever la implantación de una estación para el compresor principal, una subestación eléctrica y una estación de regulación y medida. Dichos requerimientos y medidas específicas son insumos para el diseñador, sin embargo, se mencionan acá para tenerlo en cuenta en el momento de su implantación.

Ilustración 33. Instalación complementaria del abastecimiento de Gas Natural.



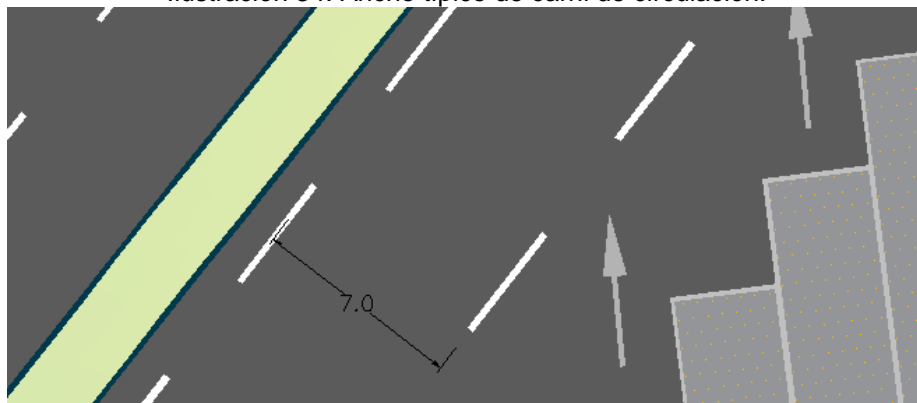
Fuente: Elaboración propia, con información de Transmilenio.

Estas instalaciones deben manejarse a unas distancias prudentes de las demás construcciones, por ejemplo, a 3 metros del borde de construcciones, bordes de vía pública o propiedad privada, a 6 metros de tanques de almacenamiento o surtidores de combustible, y a 15 metros de líneas de alta tensión o líneas férreas, según recomendaciones del operador de Gas Natural de la ciudad de Bogotá.

▪ Pasillos de circulación

Los pasillos de circulación hacen referencia a las partes destinadas únicamente al tránsito de los vehículos, también llamados carriles de paso. Los carriles en un diseño geométrico de una troncal se tienen con un ancho mínimo de 3.5 metros en calzadas unidireccionales y de 4.0 metros en calzadas bidireccionales, sin embargo, para los patios de mantenimiento se dejan carriles de 7 metros de ancho, solamente se mantiene un carril señalizado de manera que en caso de cualquier contingencia se permita el sobrepaso, y para que por estos espacios circule un vehículo a la vez.

Ilustración 34. Ancho típico de carril de circulación.



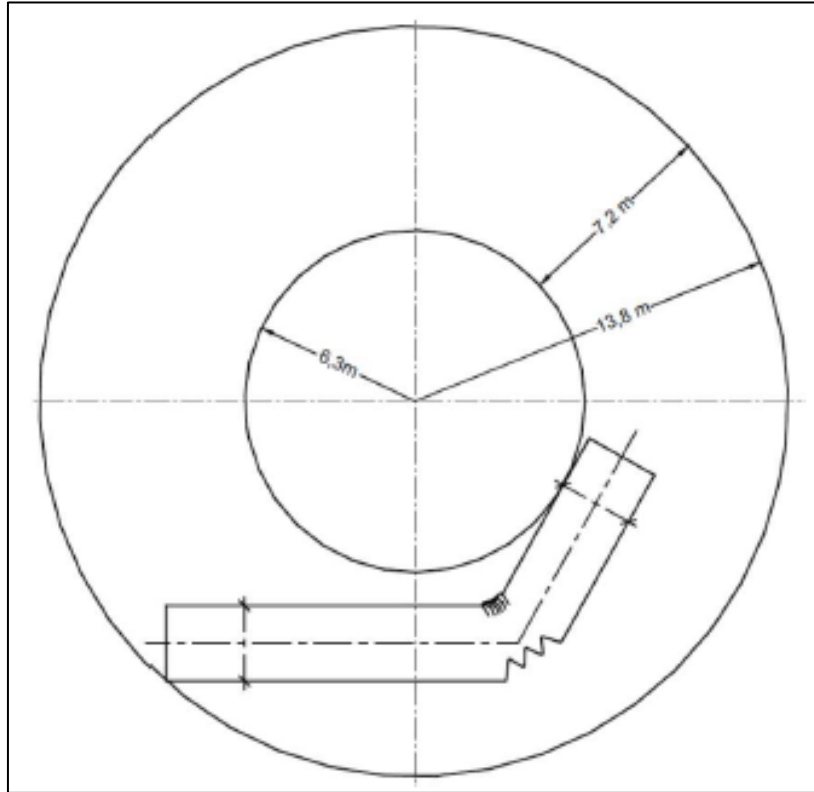
Fuente: Elaboración propia.

Estas zonas a veces están compartidas con las franjas de ingreso y salida de las diferentes utilidades del patio, -mantenimiento, lavado, etc.-, y es por eso por lo que deben señalizarse correctamente, para permitir el acceso a los servicios si se requieren, o el paso sin afectar el resto de la flota.

Dentro de los pasillos de circulación se pueden tener retornos para la circulación de los buses, dentro de los parámetros operacionales suministrados por (Transmilenio SA, 2012). Allí se mencionan unas características mínimas para las maniobras de los buses.

Como se puede ver a continuación y de acuerdo con (Transmilenio SA, 2018b) con base a (ICONTEC, 2016), determina unas dimensiones mínimas para el diseño de los retornos.

Ilustración 35. Dimensiones mínimas para maniobrabilidad de un bus articulado.

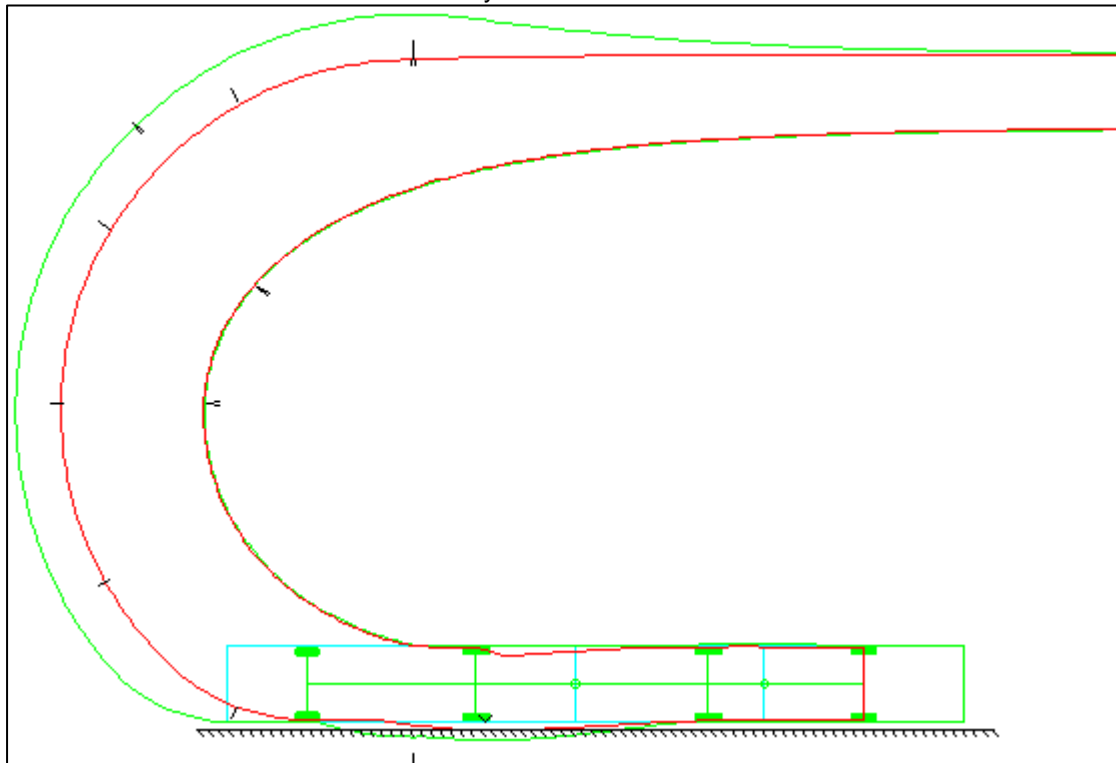


Fuente: (Transmilenio SA, 2018b)

Dichas dimensiones mínimas internas coinciden con los valores tomados en las pruebas de campo, sin embargo, como complemento a dicho diseño se muestran algunas recomendaciones para el diseño geométrico. La trayectoria que describe un vehículo está variando constantemente, pasando desde una recta hasta llegar al radio mínimo de la curva, para ello se usan las espirales en el diseño geométrico.

Como se puede observar en la Ilustración 36, la trayectoria no es simétrica a la entrada como en la salida. El vehículo en su trayectoria de salida necesita una mayor longitud para lograr estar completamente recto, en términos del diseño geométrico representa un alineamiento con una mayor longitud de espiral.

Ilustración 36. Trayectoria vehicular de referencia.



Fuente: Elaboración propia con Vehicle Tracking.

Ejemplo alineamiento de retorno - Gota

Para el diseño de un retorno (giro de 180°) es suficiente tener un radio de 6.3, con un disloque de entrada que varíe entre 0.6m y 1.0 m, dependiendo de la disponibilidad de espacio y para la salida un disloque entre 1.0 m y 1.5m, resultando una concatenación más larga que se acomoda a la morfología del bus, como se ve en la Ilustración 37.

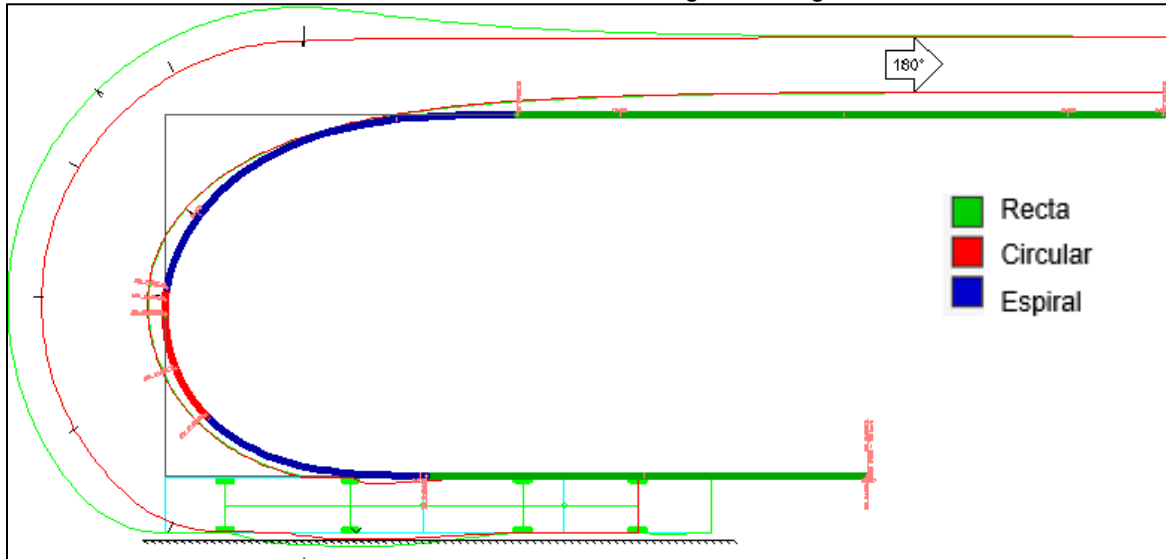
Para este alineamiento se tomaron los siguientes datos como referencia:

- Espiral de entrada: 11 m
- Radio: 6.8 m
- Espiral de salida: 18 m
- Sobreancho requerido: 7.5 m (para un único vehículo).

Cabe aclarar que esta concatenación se presenta más que todo en plataformas del sistema, ya que necesitan de un mayor espacio, sin embargo, para los patios de

mantenimiento se suele requerir reducir el espacio de afectación, es allí donde aparecen las concatenaciones que llamaremos Gotas.

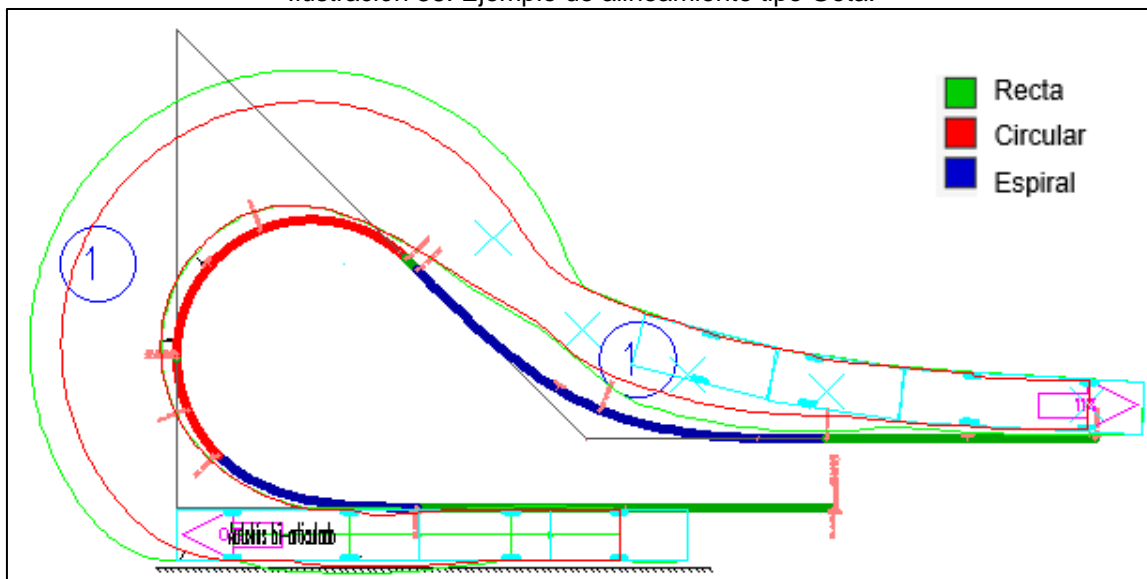
Ilustración 37. Alineamiento de un giro a 180 grados.



Fuente: Elaboración propia con AutoCAD civil3d.

Para de un alineamiento de una GOTA se prioriza disminuir el ancho requerido como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 38. Ejemplo de alineamiento tipo Gota.



Fuente: Elaboración propia con AutoCAD civil3d.

Para este alineamiento se tomaron los siguientes datos como referencia:

- Punto de Inflexión #1
 - Espiral de entrada: 11 m
 - Radio: 6.5 m
 - Sobreancho requerido: 7.5 m (para un único vehículo).
 - Punto de Inflexión #2
 - Radio: 6.5 m
 - Sobreancho requerido: 7.5 m (para un único vehículo).
 - Punto de Inflexión #3
 - Espiral de entrada y de salida: 12 m
 - Sobreancho requerido: 6.8 m (para un único vehículo).
-
- **Áreas administrativas**
- Estas áreas no tienen unas dimensiones establecidas o recomendables, y es por parte del especialista de urbanismo o arquitectura que pueda determinar el tamaño requerido de acuerdo con la flota o la cantidad de operarios que lleguen allí, sin embargo, se debe garantizar un espacio suficiente para:
- Almacenamiento de repuestos y herramienta, que debe estar contigua a la zona de cárcamos de mantenimiento.
 - Administración, alimentación del personal del patio, lugares de capacitación de personal, baños.

Si bien, estos espacios no son diseñados o dimensionados por el especialista geométrico, se debe garantizar un espacio para dichas operaciones, además de deber garantizar la conexión peatonal entre todas estas zonas para no tener incidentes viales.

3.2.2 Ejemplo de diseño planimétrico

Teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriormente descrita, se muestran a continuación tres ejemplos de diseños planimétricos de acuerdo con la clasificación de los tipos de predios que se definieron anteriormente en el numeral 2.1.1 llamado Predios.

Lo primero que se debe hacer, que aplica para cualquier tipo de predio, es tener claro el límite del predio, las áreas que se deben respetar por aislamiento ambiental, restricciones como interferencias de redes de alta tensión o canales que estén en zonas cercanas, las vías de acceso, tamaño de la flota que se requiere guardar allí, vehículo de diseño, tecnología de abastecimiento que se utilizará y cantidad de puntos de abastecimiento.

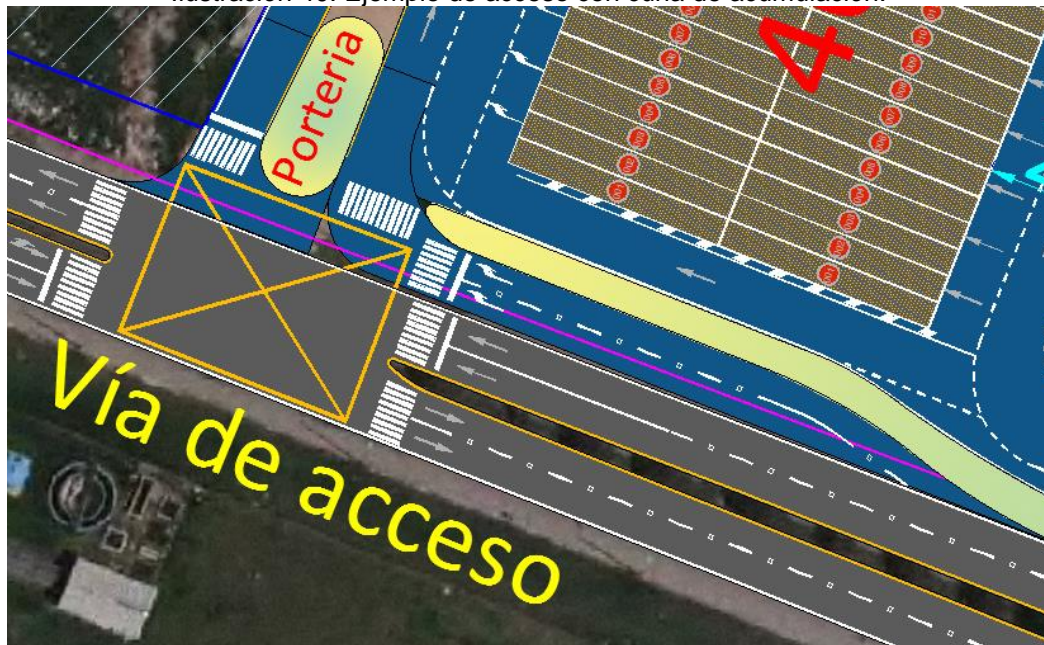
Se define el punto y manera de acceso de salida del patio, para a partir de allí empezar con el circuito que se genera del ciclo productivo. En la Ilustración 40 se muestra un ejemplo de acceso con una cuña de acumulación para el acceso al patio, con una intersección semaforizada. Otra forma de hacer el ingreso y salida es como se muestra en la Ilustración 41, donde se tiene el portal al lado del patio de mantenimiento, de esta manera la integración es más sencilla y muestra que no necesariamente el ingreso debe estar ubicado en el mismo lugar de salida.

Ilustración 39. Identificación restricciones de diseño.



Fuente: Elaboración propia.

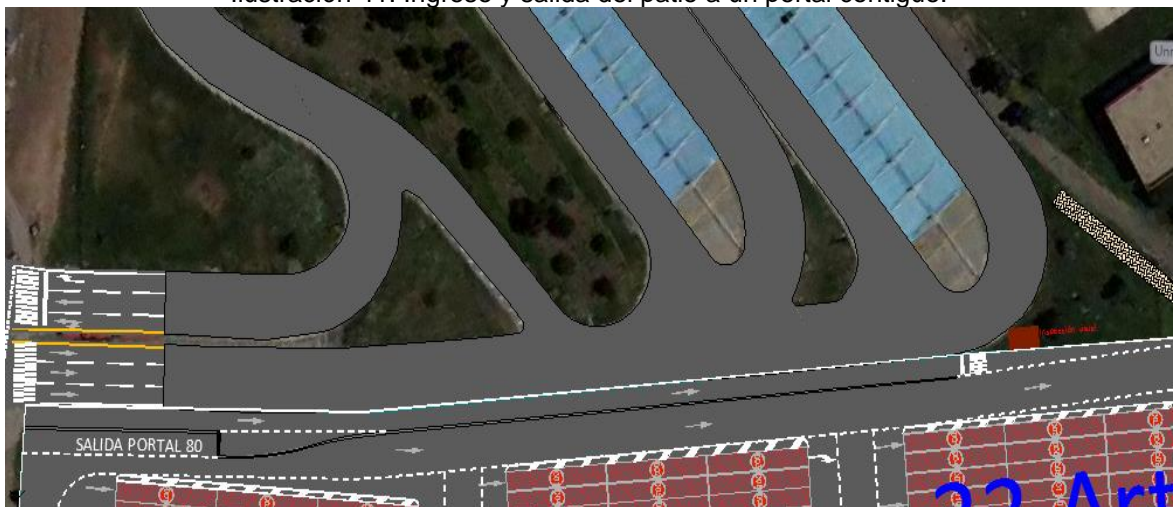
Ilustración 40. Ejemplo de acceso con cuña de acumulación.



Fuente: Elaboración propia.

Las posiciones de parqueo optimizan espacio si se tienen en un ángulo de 90 grados, además de brindar flexibilidad en su operación, sin embargo, es decisión del diseñador en qué ocasiones es conveniente o no el uso de éstas.

Ilustración 41. Ingreso y salida del patio a un portal contiguo.



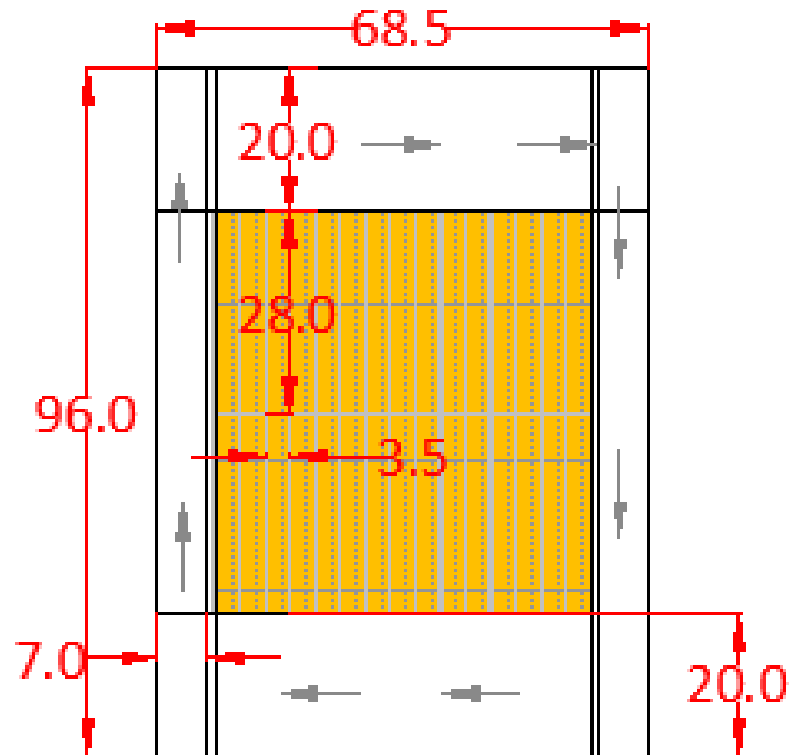
Fuente: Elaboración propia.

En las ilustraciones mostradas a continuación, se tienen dos módulos de parqueo típicos, ambos con una capacidad de 30 buses biarticulados, sin embargo, se requiere un 25% más de área para organizar la misma flota, esta decisión depende de analizar los demás factores restrictivos. Para continuar con el diseño se tendrán en cuenta las siguientes premisas que son indistintas del tipo de predio:

- En el contorno del patio es necesario tener una vía de circulación, por lo que se mantendrán los 7 metros de los carriles de circulación, como mínimo o puede considerarse como área de ingreso y salida de las baterías de parqueo.
- No debe hacerse una única batería de parqueo que incluya a toda la flota, se debe separar por un espacio de al menos un metro y medio (1.5 m) de ancho y con la misma longitud que la cantidad de buses que están en fila.⁴
- Dejar la zona de latonería y pintura, alejada de la zona de abastecimiento.
- Garantizar zonas que puedan utilizarse para los equipamientos que requiere el patio, por ejemplo:
 - La planta de tratamiento de agua residual cercana a la zona de lavado.
 - Almacén de repuestos y herramienta cercana a las zonas de mantenimiento.
 - Zonas libres del predio, en las cuales se pueda prever la zona administrativa.
 - Zona de parqueo para particulares que ingresan al patio
 - Acceso para particulares que presten servicios de mantenimiento o aprovisionamiento dentro del patio
 - Garantizar que, desde cualquier parte del patio, se permita acceder a las demás instalaciones o servicios del ciclo productivo.

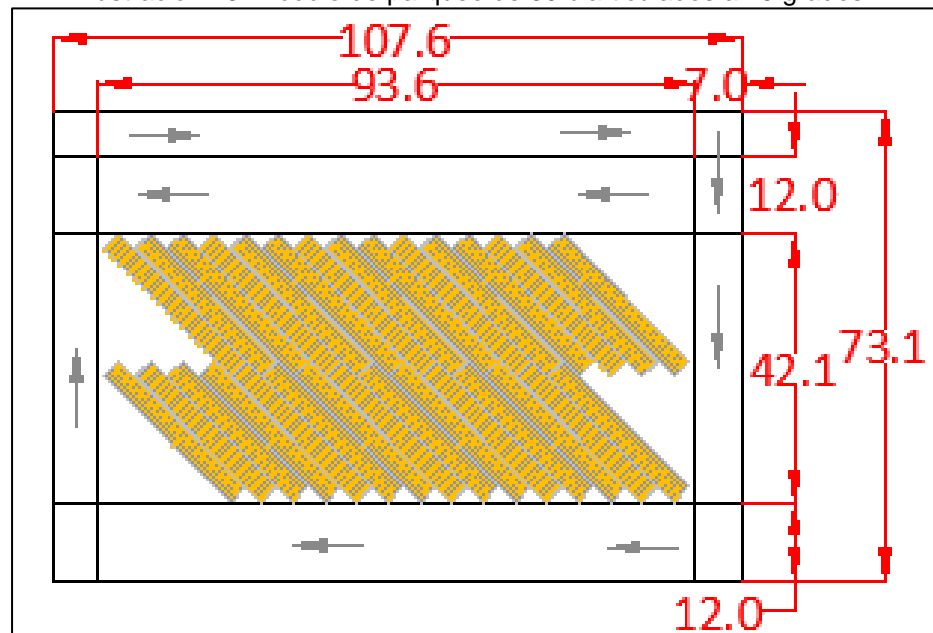
⁴ Estos espacios se llaman cortafuegos, en caso de que un bus se incendie, no afectará al resto de la flota, además de disminuir el costo de las pólizas que deben pagar los operadores por los buses.

Ilustración 42. Módulo de parqueo de 30 biarticulados a 90 grados.



Fuente: Elaboración propia

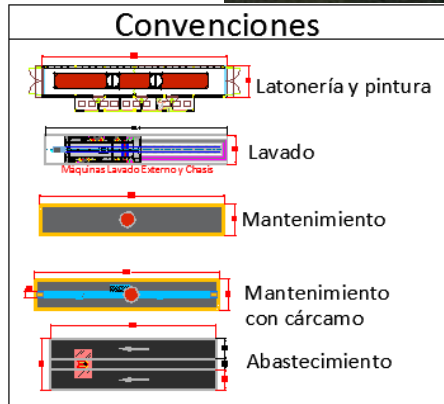
Ilustración 43. Módulo de parqueo de 30 biarticulados a 45 grados.



Fuente: Elaboración propia.

▪ **Regular (Cuadrado / Rectangular)**

Ilustración 44. Propuesta de diseño con las recomendaciones mostradas.



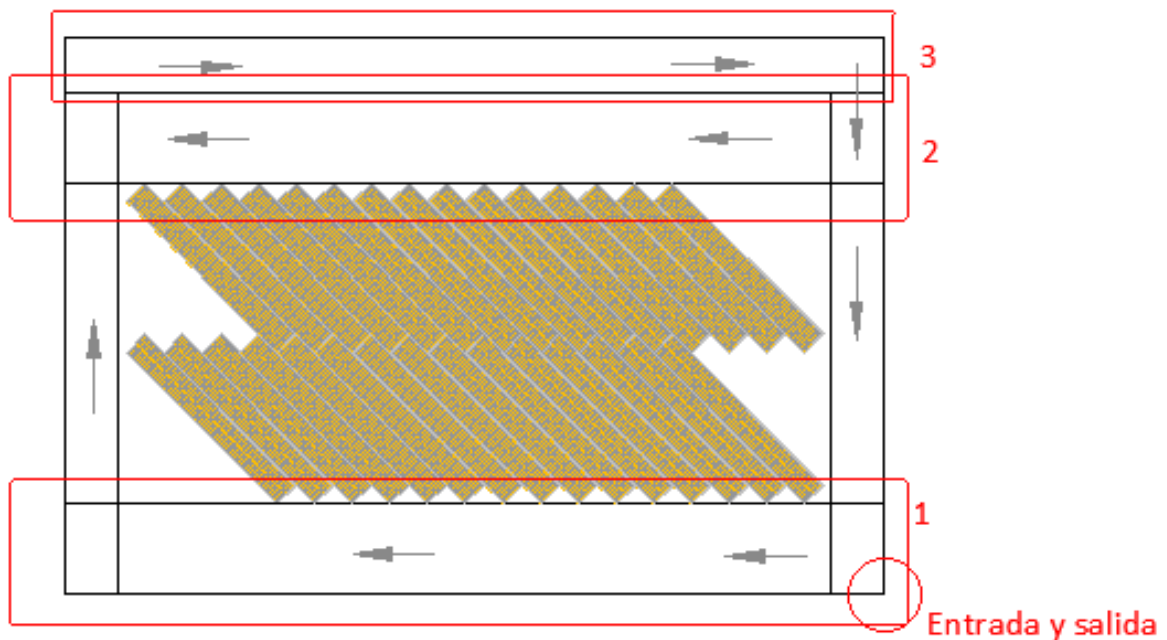
Fuente: Elaboración propia.

A partir de las restricciones que se hayan definido para el acceso y salida de los patios, se empiezan a distribuir las demás instalaciones del ciclo productivo. En este caso, al tener una forma del predio regular, se recomienda tener posiciones de parqueo a 90 grados, esto con la finalidad de optimizar las áreas de parqueo, que como se vio anteriormente, se necesita cerca de 25% menos de área, que si se tienen baterías con algún ángulo de inclinación.

▪ Alargado

La principal dificultad con los predios alargados es que no permiten el uso de las baterías de parqueo a 90 grados, que al ser la zona más grande del patio, condiciona gran parte del diseño geométrico. Es por esto, que debe empezarse a inclinar las baterías de parqueo para lograr optimizar su distribución, y al generar baterías inclinadas, se deben generar 3 carriles de paso, en vez de solamente 2 como con el parqueo a 90 grados, como se ve en las siguientes imágenes.

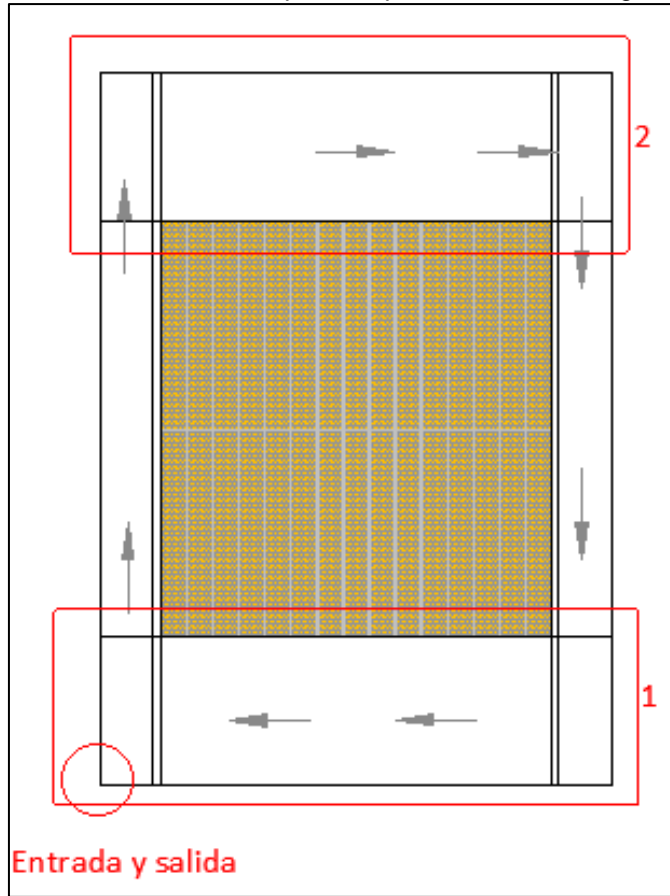
Ilustración 45. Pasillos requeridos para baterías de parqueo inclinadas.



Fuente: Elaboración propia

En la Ilustración 45 y la Ilustración 46 se puede observar la diferencia, al tener un mismo punto de inicio y fin, se debe incluir un carril adicional al tener una batería inclinada, un carril que queda exclusivo de circulación y no puede ser aprovechado para otro uso más.

Ilustración 46. Carriles requeridos para el diseño a 90 grados.



Fuente: Elaboración propia

Al tenerse un entorno restrictivo en términos de espacio, se usa el parqueo inclinado, sin embargo, se aprovecha el “carril extra” para incluir otros de los servicios del patio, como lavado secado y abastecimiento de combustible.

Ilustración 47. Propuesta de diseño para un predio alargado.



Fuente: Elaboración propia.

Otra de las posibilidades ante la problemática del espacio disponible, puede ser incluir en dos niveles las edificaciones administrativas, un ejemplo es el Patio Norte del Sistema Transmilenio, que construyó parte del edificio administrativo como parte del pórtico de entrada de los buses.

Ilustración 48. Edificio administrativo Patio Norte de Transmilenio.



Fuente: Google Earth.

Y no solamente para los edificios administrativos, sino también poder presentar edificios de parqueo en diferentes niveles para la flota del sistema, y así lograr aprovechar los predios con poca área disponible, sobre todo en una ciudad ya consolidada.

▪ Irregular

En los predios que presentan una morfología irregular no hay una única recomendación para realizar el diseño geométrico, puede tenerse una combinación de las disposiciones que permitan la mejor optimización del predio. En las siguientes ilustraciones se mostrarán varias alternativas de diseño, cabe aclarar que todas son válidas desde que respeten las restricciones planteadas desde el inicio y logren desarrollar el ciclo productivo de una manera óptima y eficiente en términos de recorridos y de recursos en general.

En la Ilustración 49, se tiene una propuesta de diseño que utiliza solamente baterías de parqueo inclinadas, asimismo el acceso para las zonas de mantenimiento se realiza con esa consideración.

Ilustración 49. Propuesta de diseño.



Fuente: Elaboración propia, con información de Transmilenio SA.

Mientras que en la Ilustración 50 se tiene otra alternativa de diseño para el mismo patio mostrado anteriormente, sin embargo, se usan ambas disposiciones de las posiciones de parqueo, (de 90 grados e inclinadas de 45). Igualmente se tiene el ingreso y salida desde la vía de acceso, la vía perimetral que permite el acceso a las diferentes áreas del patio, las baterías de parqueo divididas por sus cortafuegos, las isletas para la implantación de las edificaciones que son necesarias para su funcionamiento y una condición especial de este diseño, la línea de alta tensión que no permite construcciones bajo la línea de influencia o a menos 15 metros de distancia.

3.3 Indicador de eficiencia de ocupación

Se implementará el uso de un indicador para lograr identificar la eficiencia de la ocupación de los patios de mantenimiento. Este consiste en dividir el área total de circulación en la cantidad de buses, lo que representaría, cuántos metros cuadrados le corresponden a cada vehículo.

$$Eficiencia = \frac{\text{Área total de circulación}}{\text{Números de buses} * \text{factor de equivalencia}}$$

El área de circulación hace referencia a la totalidad del espacio requerido para el patio de mantenimiento restándole el área de las zonas de mantenimiento, lavado, edificaciones y cualquier otro espacio por el que la flota vehicular no puede circular. Y el número de buses, es el número de baterías de parqueo disponibles. Sin embargo, es claro que se debe diferenciar cuando se está hablando de buses biarticulados o de buses articulados simplemente, es por esto que se habla de un factor de equivalencia.

Al ser el bus biarticulado el principal vehículo de diseño, dada la importancia que está tomando en el ámbito nacional, se establece como la referencia, entonces el factor de equivalencia será de uno (01) para buses biarticulados, mientras que, para buses articulados, será la relación del área de una batería de parqueo para un bus articulado, respecto a la del bus biarticulado.

Tabla 8. Factor de equivalencia

Tipo de vehículo	Factor de equivalencia
Biarticulado	1.00
Articulado	0.68

Fuente: Elaboración propia.

Si el indicador de eficiencia tiene valores pequeños, se entenderá que se está haciendo un mejor uso y aprovechamiento del área disponible. Por el contrario, si se tienen números mayores, se entiende que es una propuesta o diseño que es susceptible de mejorar.

Tabla 9. Valores de referencia para el factor de eficiencia de ocupación.

Indicador de eficiencia m ² /bus ⁵		
<230	230-280	>280
Óptimo	Regular	Susceptible de mejora

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Diseño altimétrico

Al igual que cuando se va a realizar el diseño geométrico de un corredor vial, se debe consolidar el diseño planimétrico antes de trazar rasantes, esto debido a que cualquier modificación en la planimetría, provocará un reproceso en el diseño del perfil altimétrico. Antes de empezar con el diseño geométrico se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Se debe garantizar la evacuación de la escorrentía superficial en todo momento con cualquier temporal que pueda llegar. Son áreas bastas y pavimentadas, por lo que es un reto en el área hidráulica, sin embargo, el diseño geométrico tiene gran responsabilidad allí.
- La pendiente longitudinal mínima se recomienda de 0,3% siempre que sea construido con pavimento rígido, mientras que si se tiene pavimento flexible -por la susceptibilidad a deformarse-, se recomienda una pendiente mínima de 0,5%.
- Se intenta también tener pendientes máximas de 2%, esto para evitar los efectos erosivos del agua en la superficie y posibles accidentes por el efecto de hidro planeo.
- La captación se realiza por medio de la localización de sumideros⁶ en los puntos bajos del modelo digital de terreno o en puntos intermedios para lograr optimizar las áreas aferentes de cada uno.
- Las áreas aferentes de cada sumidero no deben superar la capacidad hidráulica, esto se debe tener presente para plantear la rasante de diseño.

⁵ Los valores de referencia resultan de un análisis en los diferentes patios de operación del sistema Transmilenio en la ciudad de Bogotá.

⁶ Antes se solían utilizar cárcamos o rejillas de captación, sin embargo, se desgastan fácilmente por la fatiga que produce el paso constante de los buses, según experiencia de los profesionales.

- La estabilidad y características del suelo condicionarán el nivel de cimentación de la estructura de pavimento.
- La zona de mantenimiento debe tener la menor pendiente longitudinal posible, aproximadamente de 0%, dado que está protegida por una cubierta que impide la llegada de agua y para llevar a cabo el mantenimiento sin dificultades.
- Alrededor de las zonas de mantenimiento, se suele tener un cárcamo para recoger el agua que cae de la cubierta y posibles derrames de líquidos del mantenimiento, conectados a una trampa de grasas, antes de su disposición.

Ejemplo de diseño altimétrico

Con el modelo digital del terreno, levantado por cualquier método topográfico, se analiza la tendencia del terreno natural, para saber hacia dónde drena naturalmente el terreno, y de esta manera, entender mejor el comportamiento de la zona de interés.

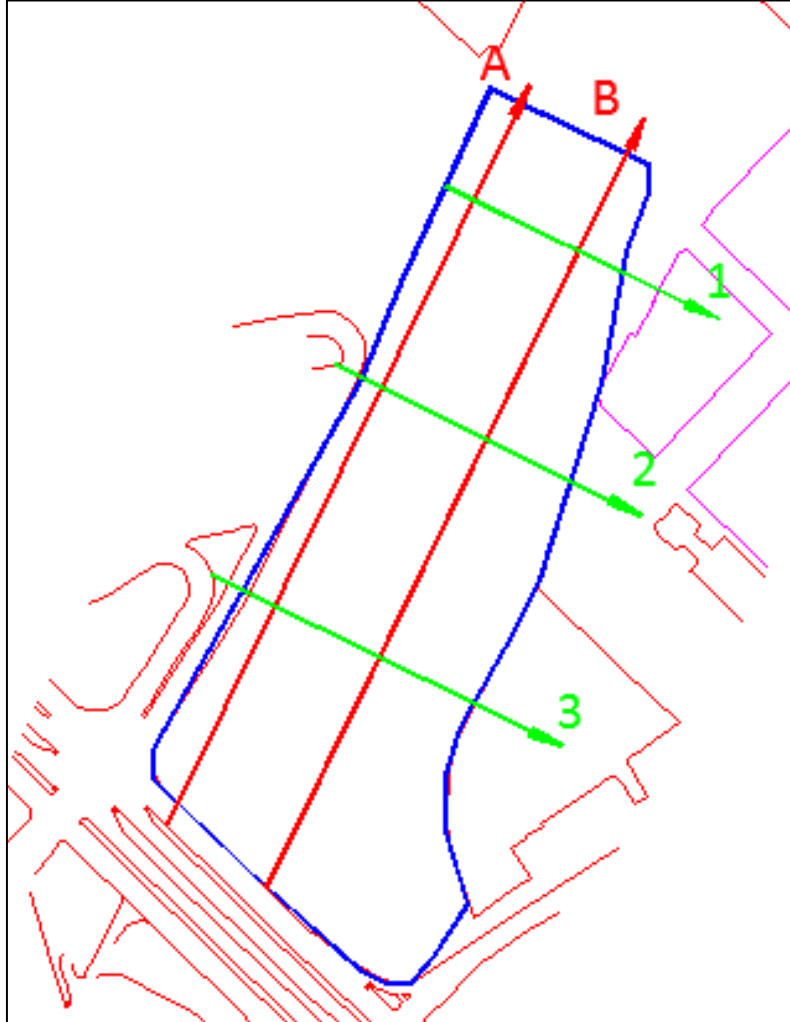
Ilustración 51. Ejemplo de diseño altimétrico, lote disponible.



Fuente: (FDN, Transmilenio SA and Disvial Ingeniería de proyectos SAS, 2018)

Para saber la tendencia del terreno, se recomienda hacer unos perfiles longitudinales y transversales que permitan su análisis, idealmente perpendiculares entre sí y a gusto del diseñador, la idea es abarcar todo el lote.

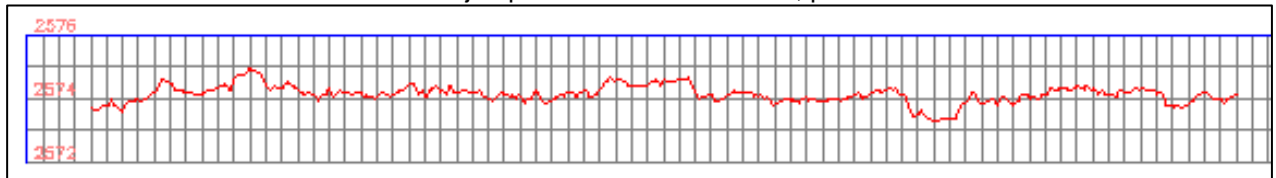
Ilustración 52. Ejemplo de diseño altimétrico, perfiles longitudinales.



Fuente: (FDN, Transmilenio SA and Disvial Ingeniería de proyectos SAS, 2018)

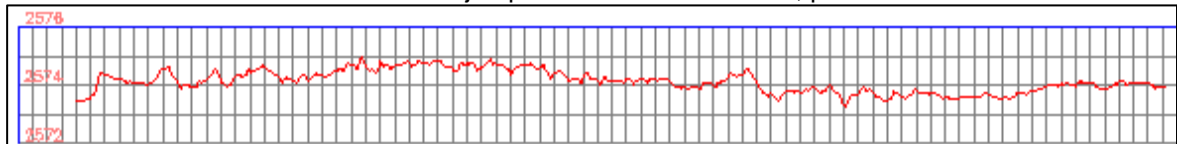
A continuación, desde la Ilustración 53 hasta la Ilustración 57, se muestran los perfiles del terreno natural para el ejemplo de estudio.

Ilustración 53. Ejemplo de diseño altimétrico, perfil A.



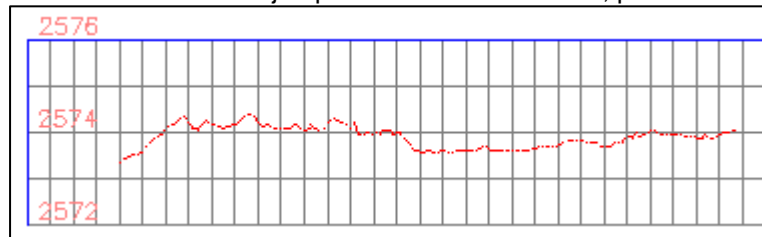
Fuente: (FDN, Transmilenio SA and Disvial Ingeniería de proyectos SAS, 2018)

Ilustración 54. Ejemplo de diseño altimétrico, perfil B.



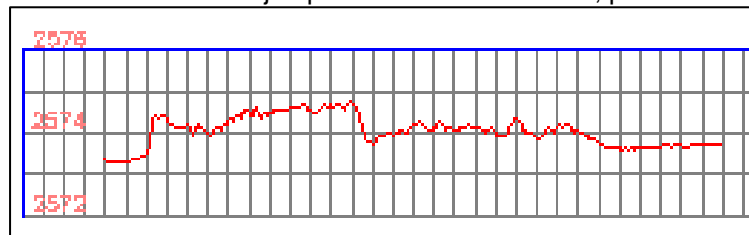
Fuente: (FDN, Transmilenio SA and Disvial Ingeniería de proyectos SAS, 2018)

Ilustración 55. Ejemplo de diseño altimétrico, perfil 1.



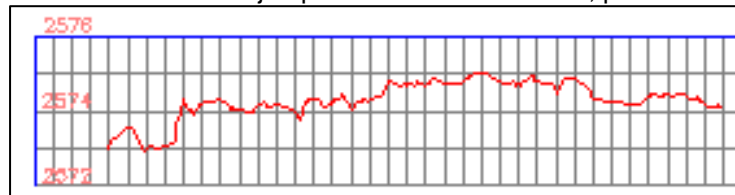
Fuente: (FDN, Transmilenio SA and Disvial Ingeniería de proyectos SAS, 2018)

Ilustración 56. Ejemplo de diseño altimétrico, perfil 2.



Fuente: (FDN, Transmilenio SA and Disvial Ingeniería de proyectos SAS, 2018)

Ilustración 57. Ejemplo de diseño altimétrico, perfil 3.



Fuente: (FDN, Transmilenio SA and Disvial Ingeniería de proyectos SAS, 2018)

Al ser un terreno plano, con pequeñas variaciones, se evacuará la escorrentía superficial de todo el patio hacia la vía externa más próxima.

Consolidado el diseño planimétrico, se establecen las restricciones del diseño altimétrico.

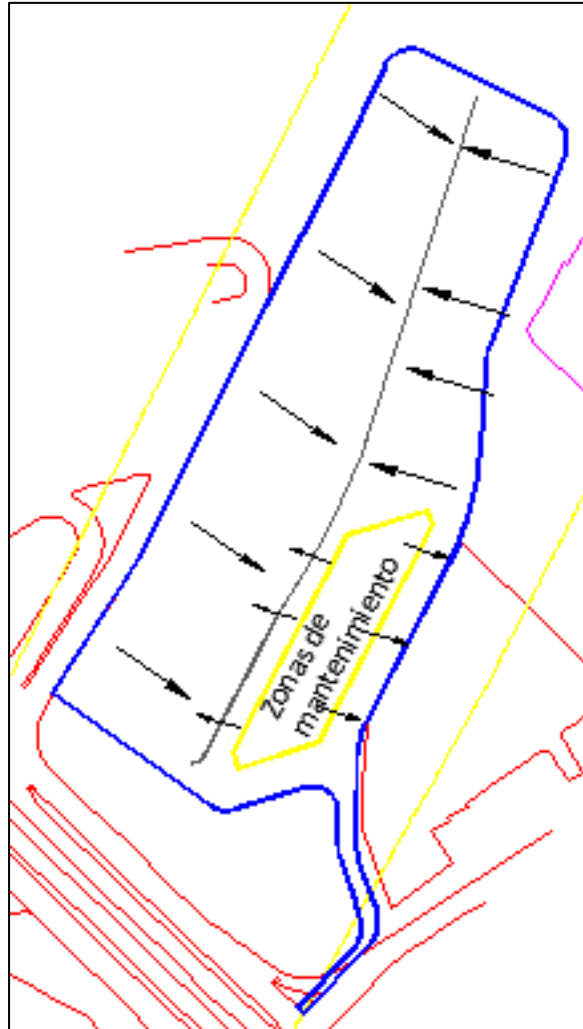
Ilustración 58. Ejemplo de diseño altimétrico, diseño planimétrico consolidado.



Fuente: (FDN, Transmilenio SA and Disvial Ingeniería de proyectos SAS, 2018)

Una vez ubicadas las restricciones altimétricas, se procede a realizar una propuesta esquemática de las líneas de flujo que se van a crear, tanto longitudinalmente como transversalmente, dichos esquemas están en la Ilustración 59 y Ilustración 60.

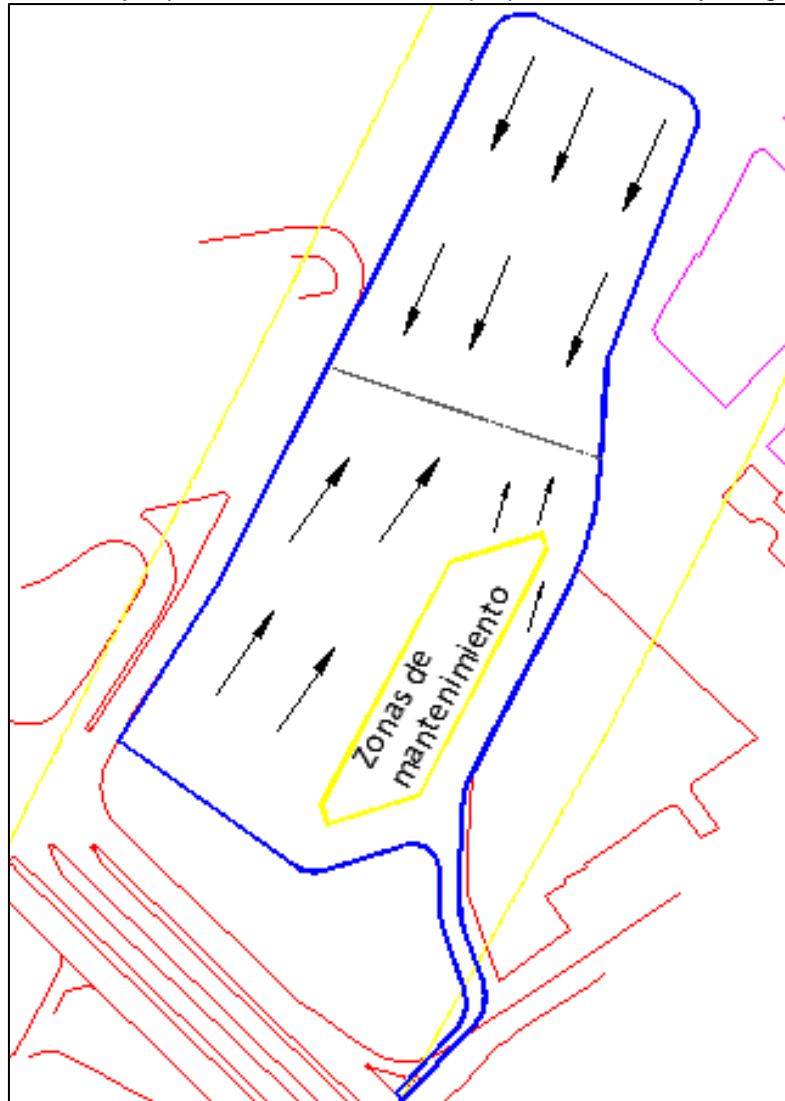
Ilustración 59. Ejemplo de diseño altimétrico, propuesta de drenaje transversal.



Fuente: Elaboración propia

Este procedimiento obedece al de cualquier diseño geométrico, respetando las restricciones que son los cárcamos de mantenimiento.

Ilustración 60. Ejemplo de diseño altimétrico, propuesta de drenaje longitudinal.



Fuente: Elaboración propia

4.Recomendaciones operacionales

Al menos en la ciudad de Bogotá el sistema adjudica la operación a varios encargados privados por medio de concesiones, de esta manera se garantiza la administración de la infraestructura de mantenimiento y de los vehículos⁷. Como parte del diseño geométrico se debe tener en cuenta el funcionamiento de los patios en el momento de la operación, por lo que se siguen las recomendaciones de Transmilenio S.A. en su manual de operaciones (Transmilenio SA, 2012).

Durante el desarrollo de la operación es muy común encontrar cruces de flota, donde el operador debe prestar sus servicios a vehículos de la flota que no son propios, esto puede presentarse en horas valle o al finalizar la operación, teniendo que dejar los automotores en el patio de destino.

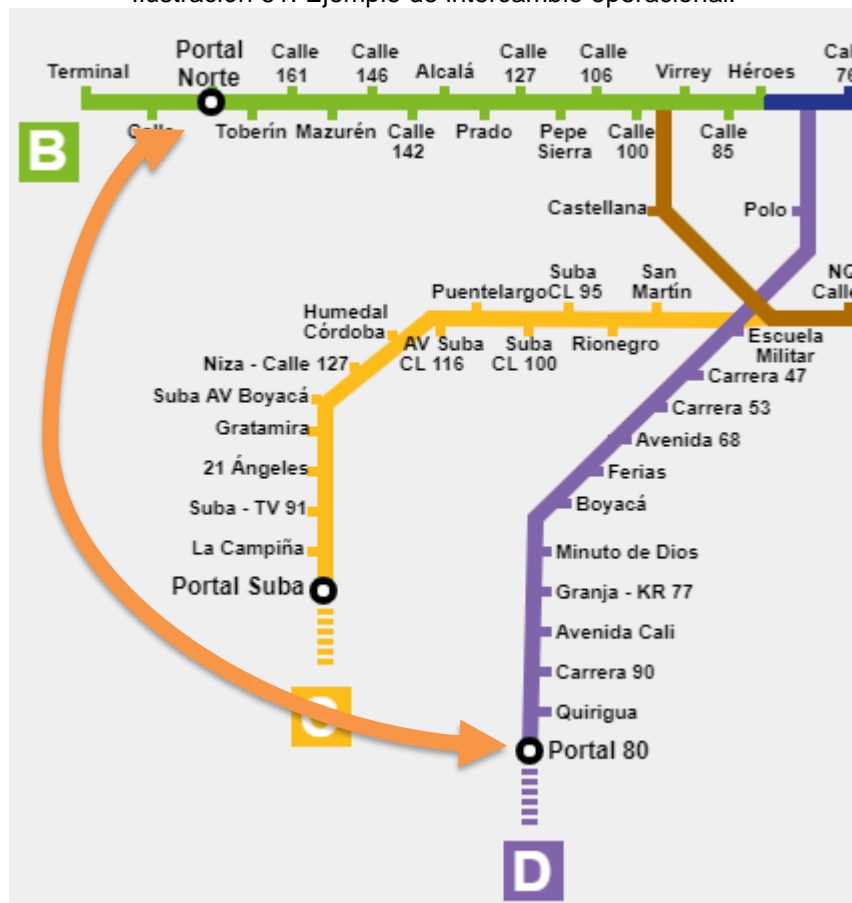
Por ejemplo:

El Operador encargado de la flota del portal norte acaba su recorrido en el portal 80 al finalizar la hora pico, por lo que el operador de este patio debe brindar un espacio para parqueo, abastecimiento o incluso mantenimiento de ser requerido. Una vez finalizada la hora valle, el automotor sale de ese portal hacia su origen inicial.

De la misma manera puede ocurrir al finalizar la operación, de modo que facilite los recorridos en vacío, para que el operador encargado de la ruta que tiene origen, un patio o portal que el día anterior fue su destino, puede garantizar su servicio oportuno al estar alojado en un patio más cercano.

⁷ En este caso hablaremos exclusivamente de buses troncales (articulados y biarticulados).

Ilustración 61. Ejemplo de intercambio operacional.



Fuente: Elaboración propia con información de (Transmilenio SA, 2020)

¿Pero esto cómo afecta el diseño geométrico de un patio de mantenimiento?

Se debe garantizar que la flota propia del patio pueda hacer uso de las instalaciones, pero también se le debe permitir a los buses que llegan como visitantes. Por lo que si la flota original del patio contiene sólo buses articulados, pero allí llegarán buses biarticulados, el vehículo de diseño será el bus biarticulado. Esta situación aplica tanto para las baterías de parqueo como para los demás servicios y utilidades que brinda el patio.

5. Entregables

A continuación, se describen unos entregables mínimos que garantizan la viabilidad del proyecto en el diseño geométrico que se está entregando, sin embargo, es obligación del especialista identificar los requerimientos por parte del contratante, las diferentes fases de los estudios para responder así a sus requerimientos. Cabe recalcar que no es un diseño geométrico convencional, por lo que existen algunas variaciones entre los entregables típicos de un diseño vial y los descritos a continuación.

- Informe

Corresponde al registro escrito del seguimiento en las diferentes etapas, definición de las variables tenidas en cuenta y restricciones que determinan las diferentes decisiones que se están tomando.

Dentro del informe se recomienda la inclusión de un capítulo que contenga las recomendaciones operacionales propias para el diseño presentado, no debe ser genérico para todos ya que cada consideración fue tenida en cuenta y tratada de manera especial.

- Diseño planimétrico

Corresponde a los planos en los que se muestra la distribución que se ha hecho de los diferentes elementos del ciclo productivo

- Diseño Altimétrico

Al no ser un diseño geométrico convencional, no se tiene como tal el diseño de una rasante solamente, sino un conjunto de puntos que corresponden a un modelo digital del terreno. Al ser recomendable el uso de pavimento rígido para su construcción, se entregan cotas de pavimento de todas las esquinas de las losas, lo que conlleva un análisis y modulación de estas que se realiza en conjunto con el área de pavimentos.

6. Conclusiones y recomendaciones

Dando cumplimiento al objetivo de la presente guía, se describen las conclusiones y recomendaciones resultantes.

6.1 Conclusiones

A pesar de que Bogotá es una ciudad con una red de BRT bastante amplia, no tiene unos criterios y lineamientos que se deban seguir para el diseño de patios de mantenimiento, de allí surgió la necesidad y se genera el presente documento; una propuesta de guía de diseño geométrico para patios de un Sistema de Buses Rápidos (BRT), a partir de la recolección de información secundaria, información primaria (resultante de pruebas de campo) y de la consulta a profesionales expertos.

Aunque se definieron anteriormente en el desarrollo de todo el documento, a continuación se enlistan los principales criterios necesarios para el diseño de patios talleres, los cuales requieren entender el funcionamiento del sistema:

- Definición del ciclo productivo
- Dimensionamiento de todas las utilidades del patio.
- Vehículo de diseño (maniobras y dimensiones)
- Características del terreno y del predio
- Demás áreas:
 - Hidráulica (drenaje)
 - Arquitectura (edificaciones y usos)
 - Pavimentos (estructura de pavimento a utilizar)
 - Operadores del patio (optimización de recorridos)

Se demuestra la importancia de realizar pruebas de campo sobre todo con vehículos cuyas características y trayectorias no están claramente estudiadas, además de la necesidad de socializar entre los diferentes profesionales interesados, dado que cualquier cambio que se requiera, puede tener repercusiones en todo el diseño planteado.

6.2 Recomendaciones

Con los 20 años que lleva el sistema de transporte Transmilenio en la ciudad de Bogotá, se constituye como uno de los pioneros en el planeamiento, diseño y construcción de este tipo infraestructura, han sido muchos los cambios desde sus inicios hasta hoy, principalmente debido al desarrollo tecnológico, como el cambio de la flota, o de las tecnologías de dichos buses, es por esto que se recomienda una actualización periódica inspirada y motivada por parte de las entidades involucradas o de algún diseñador interesado en la infraestructura del transporte, adoptando estudios actualizados y la experiencia de profesionales involucrados.

El contenido de la propuesta de guía de diseño geométrico se socializó con los profesionales consultados, de manera que estuvieran de acuerdo con lo acá planteado, manifiestan la necesidad de hacerlo público por medio de la entidad más importante del sistema, Transmilenio.

**A. Anexo: Bloques de las estructuras
requeridas para el diseño geométrico**

Bibliografía

- Agudelo, J. (2002) 'Diseño Geométrico de Vías. Ajustado al manual colombiano.', *Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín*, pp. 459–451. Available at: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/55513650/disec3b1o-geomc3a9trico-de-vc3adas-john-jairo-agudelo.pdf?response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DDISENO_GEOMETRICO_DE_VIAS_Ajustado_al_Ma.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Creden.
- FDN, Transmilenio SA and Disvial Ingeniería de proyectos SAS (2018) 'Estructuración patios temporales del sistema Transmilenio SA.'
- Financiera de Desarrollo Nacional and SCANIA (2018) 'Características bus biarticulado a Gas', p. 10.
- ICONTEC (2009) *NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 4901-3*. Available at: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC2681.pdf> (Accessed: 28 August 2019).
- ICONTEC (2016) 'NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 4901-1', p. 28. Available at: <https://es.scribd.com/document/358804736/NTC4901-1>.
- Transmilenio SA (2012) 'Manual de Operaciones del Sistema Transmilenio', 01, pp. 1–193.
- Transmilenio SA (2018a) 'APÉNDICE 1 : Especificaciones Vehículo Troncal', pp. 1–114.
- Transmilenio SA (2018b) 'Parámetros de infraestructura para los patios nuevos requeridos para la operación del sistema troncal.' Bogotá: Subgerencia técnica y de servicios de Transmilenio., p. 19.
- Transmilenio SA (2018c) 'TC-Col-Bloque-Biarticulado-TM'. Bogotá, p. 1.
- Transmilenio SA (2020) 'Mapa Sistema Transmilenio'. Available at: https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/150402/publicacionesmapa_interactivo_de_transmilenio/.

Vega B., J. P. (2018) 'El sistema Transmilenio estrenará buses y operadores antes de dos años.', *La Republica*. Available at: <https://www.larepublica.co/economia/transmilenio-estrenara-buses-y-operadores-antes-de-dos-anos-2608019>.